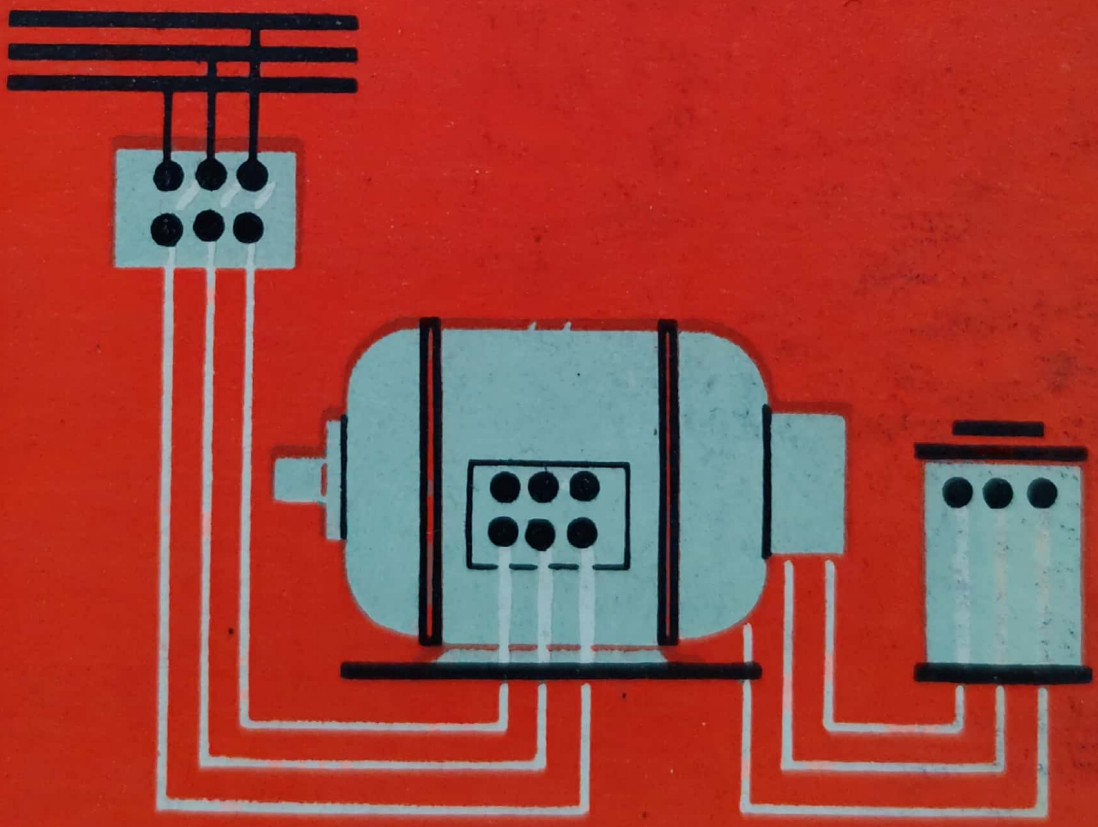
COLECȚIA ELECTRICIANULUI

E. A. KAMINSKI

# LEGĂTURILE ÎN STEA ȘI ÎN TRIUNGHI



Scanned with OKEN Scanner

E. A. KAMINSKI

9 Apr. 1963

# LEGĂTURILE ÎN STEA ȘI ÎN TRIUNGHI

Traducere din limba rusă

COLECȚIA ELECTRICIANULUI

EDITURA TEHNICĂ
BUCUREȘTI-1963

Scanned with OKEN Scanner

Sînt expuse proprietățile legăturii în stea și în triunghi. Se arată cum trebuie ales montajul necesar și cum se realizează acesta. Se descriu erorile cele mai frecvente și se explică prevenirea acestora.

Broșura este destinată unui cerc larg de montori și electrotehnicieni. Poate fi utilă elevilor școlilor profesionale și medii tehnice.

Е. А. КАМИНСКИЙ

ЗВЕЗДА И ТРЕУГОЛЬНИЙ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД 1961 МОСКВА

Scanned with OKEN Scanner

## § 1. INTRODUCERE

Steaua și triunghiul sînt principalele legături întîlnite în instalațiile trifazate de curent alternativ. Fiecare dintre acestea are proprietăți caracteristice și de aceea felul legăturii nu este întotdeauna indiferent. Astfel, de exemplu, dacă lămpile legate în stea luminează bine, ele nu pot fi comutate în triunghi, deoarece se vor aprinde puternic și se vor defecta. În acest caz înseamnă că legătura în stea este utilă, iar cea în triunghi, dăunătoare. În alte cazuri lucrurile se petrec invers: sînt utile proprietățile legăturii în triunghi și nu cele ale legăturii în stea. De exemplu, înfășurarea unui motor electric care funcționează bine cînd este legată în triunghi nu poate fi comutată în stea deoarece în acest caz puterea la arborele său se va micșora de trei ori.

Înfășurările aceluiași aparat pot fi legate în stea (triunghi) nu numai într-un singur mod, ci în cîteva moduri. Prin urmare, nu toate legăturile în stea, respectiv nu toate legăturile în triunghi, sînt identice între ele, fapt care în unele cazuri are importanță. Astfel, de exemplu, dacă se leagă în paralel două transformatoare asemănătoare cu aceleași legături în stea (în electrotehnică se spune „cu grupe asemănătoare de legătură", vezi mai jos § 7), acestea vor repartiza corect sarcina între ele. Dacă legăturile în stea ale transformatoarelor sînt diferite, va avea loc un scurtcircuit puternic.

Mai departe în fiecare caz concret se poate ști precis care legătură este necesară, însă aceasta reprezintă prea puțin. Trebuie să știm cum se execută această legătură. În practică, însă este mult mai greu să realizăm o asemenea legătură, decît s-o desenăm. Greutatea constă în aceea că înfășurările care se află în interiorul aparatului nu sînt vizibile. Sînt accesibile numai bornele lor și nu întotdeauna se știe căreia din cele trei înfășurări aparține



Scanned with OKEN Scanner

fiecare și ce fel de bornă este: sfîrșitul înfășurării sau începutul ei? Înseamnă că la executarea legăturilor se poate greși ușor, adică în locul unei anumite legături în stea (triunghi) se poate obține alta (altul) sau, și mai rău, altă legătură, nici în stea și nici în triunghi, care nu este permisă întotdeauna.

În sfîrșit, un aparat legat corect în stea (triunghi) poate fi ușor conectat greșit la rețea. O astfel de eroare poate schimba, de exemplu, sensul de rotație al unui motor electric sau chiar al unei grupe de motoare electrice.

Exemplele menționate sînt suficiente pentru a ne arăta cît de important este pentru fiecare montor și electrotehnician nu numai să cunoască bine și să înțeleagă proprietățile legăturii în stea și în triunghi, ci să știe și cum să utilizeze corect cunoștințele sale în practică. Broșura de față este consacrată tocmai examinării acestor probleme.

## § 2. NOȚIUNI ȘI DEFINIȚII FUNDAMENTALE

**Producerea curentului alternativ.** Curentul alternativ poate fi produs de cel mai simplu generator, cu înfășurarea dintr-o spiră și cu un magnet cu doi poli.

În generatoarele reale înfășurarea are mai multe spire. Cîmpul magnetic este creat, de regulă, nu de un magnet, ci de un electromagnet. Numărul polilor acestuia poate fi mai mare decît doi. În afară de aceasta într-unele execuții ale generatoarelor, magnetul *1* este fix și înfășurarea *2* se rotește (fig. 1, *a*); la altele înfășurarea *2* este fixă și magnetul *1* se rotește (fig. 1, *b*) fapt care este foarte important pentru construirea și exploatarea generatoarelor însă principial între ele, nu este nici o diferență. De ce? Pentru că la producerea tensiunii alternative este important numai faptul ca spirele înfășurării să taie liniile de forță magnetice și aceasta se realizează în măsură egală atît într-un caz, cît și în celălalt.

Cînd se rotește înfășurarea (magnetul), aceasta (acesta) ocupă succesiv, în timp, diferite poziții față de cîmpul magnetic (înfășurare).

Mai întîi, înfășurarea se găsește pe axa neutră, adică între poli, cum se arată în fig. 2, *a* și este perpendiculară pe direcția cîmpului magnetic. În acest caz, conductoarele



Scanned with OKEN Scanner

parcă alunecă de-a lungul liniilor de forță iar tensiunea electromotoare (t.e.m.) nu apare în acestea. Apoi un conductor (partea sa frontală este înnegrită) se apropie de polul nord *N*, iar celălalt (neînnegrit), de polul sud *S* (fig. 2, *b*) și, în sfîrșit, ele ajung sub poli (fig. 2, *c*). În

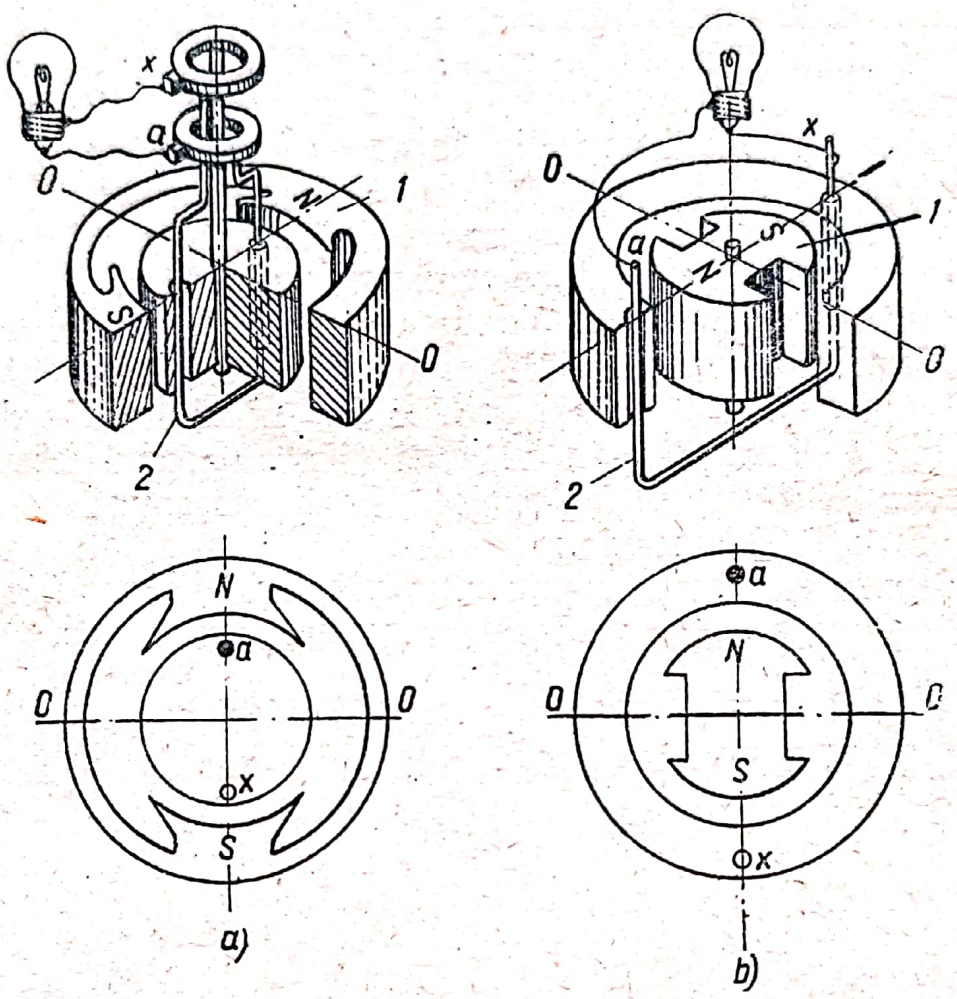



Fig. 1. Principiul de producere a curentului alternativ cu ajutorul generatoarelor

această poziție conductoarele se deplasează perpendicular pe liniile de forță iar t.e.m. atinge valoarea sa cea mai mare (maximă) [1].

Mai departe conductoarele se îndepărtează de poli (fig. 2, *d*) și ajung din nou pe axa neutră (fig. 2, *e*): t.e.m. este egală cu zero.

---

[1] În conductoarele care se află sub poli diferiți, tensiunile electromotoare sînt îndreptate în sensuri diferite: într-unul din ele t.e.m. e dirijată spre planul desenului, iar în celălalt spre noi. Conductoarele care formează însă o spiră sînt astfel legate între ele încît tensiunile lor electromotoare se adună.



Scanned with OKEN Scanner

Continuînd mișcarea, conductorul care mai înainte a trecut pe sub polul Nord se apropie de polul Sud (fig. 2, *f*) ; conductorul care a fost sub polul sud, se apropie de polul Nord ; sensul t.e.m. se schimbă. Sub poli (fig. 2, *g*) t.e.m. atinge din nou valoarea maximă, însă negativă.

În sfîrșit, conductoarele se îndepărtează de poli (fig. 2, *h*) și din nou revin pe axa neutră (fig. 2, *i*); t.e.m. este egală cu zero. Mai departe, la fiecare rotație completă, fenomenul se repetă periodic, în aceeași succesiune.

**Perioada și frecvența.** *Timpul T corespunzător unui ciclu complet de variație a curentului alternativ, după care procesul începe din nou, se numește perioadă.* Frecvența *f* reprezintă numărul de perioade pe secundă. Toate centralele electrice din U.R.S.S. care alimentează instalațiile de iluminat și industriale produc curent alternativ de 50 perioade pe secundă sau 50 herți (Hz). Această frecvență se numește *frecvență industrială.* Ei îi corespunde o perioadă *T* de 0,02 secunde.

**Sinusoida.** Curba reprezentată în fig. 2, *sinusoida* arată că valoarea t.e.m. variază permanent, iar numărul valo-

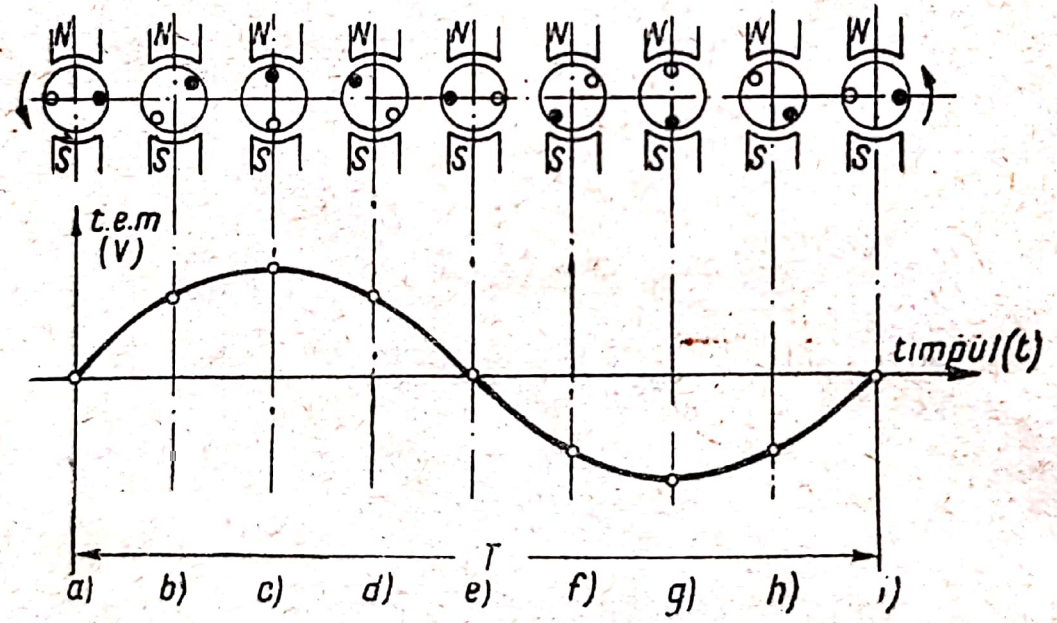



Fig. 2. Variația t.e.m. în decursul unei perioade

rilor sub instantanee în decursul unei perioade este infinit ; numărul acestor valori este egal cu numărul de puncte care se află pe sinusoidă. În decursul unei perioade a sinusoidei, valorile instantanee ale t.e.m. de aceeași mărime dar de semne deosebite se întîlnesc de două ori. Într-o perioadă



Scanned with OKEN Scanner

t.e.m. atinge de două ori valoarea cea mai mare (amplitudinea), însă o dată aceasta este pozitivă și altădată negativă. Într-un cuvînt, după forma sinusoidei ne putem imagina perfect variația unei t.e.m. sinusoidale sau a unui curent sinusoidal în funcție de timp.

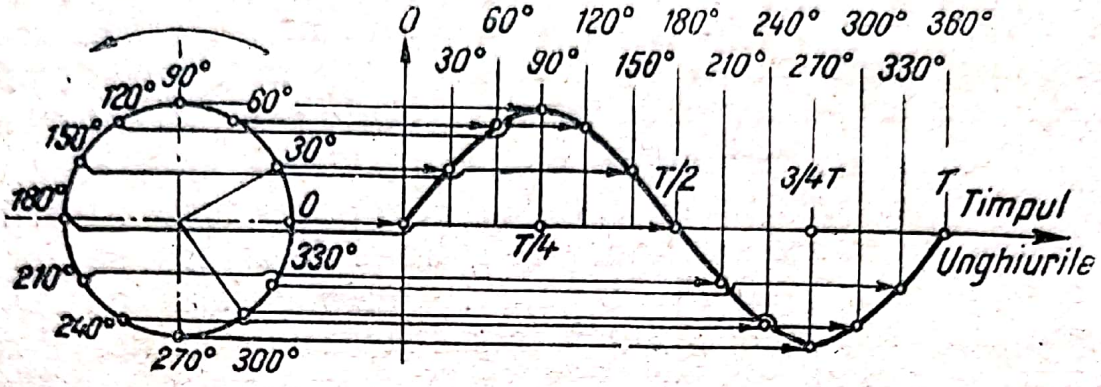



Fig. 3. Tehnica trasării unei sinusoide

În fig. 3 se arată cum se construiește o sinusoidă.

Pe axa orizontală se așază sau timpul care crește de la stînga la dreapta sau unghiurile de rotație ale înfășurării (magnetului), care se consideră de la o anumită poziție considerată drept inițială. Unghiurile se pot măsura, fie în grade, fie în radiani. În fig. 3 timpul este dat în fracțiuni de perioadă: $^1/_4\ T$, $^1/_2\ T$, $^3/_4\ T$; de asemenea sînt reprezentate unghiurile de rotație: 0°, 30°, 60°, 90°, ... ...360°. Trebuie să se aibă în vedere că la generatoarele cu doi poli, perioada corespunde unei rotații complete (360° sau $2\pi$ radiani); deci pentru ca un conductor al înfășurării ieșind de sub polul Nord (Sud), să se întoarcă sub același pol, trebuie ca el să se rotească cu 360°. De aceea în fig. 3, care reprezintă variația t.e.m. a unui generator cu doi poli, perioada $T$ corespunde unui unghi de 360°, semiperioada $T/2$ corespunde la 180°, sfertul de perioadă $T/4$ la 90° etc. La generatoarele multipolare gradele geometrice nu coincid cu cele „electrice" deoarece polii cu același nume, de exemplu polii Nord, sînt așezați mai aproape unul față de altul: la generatorul cu patru poli la 180°, la cel cu 6 poli la 120° etc. Deoarece, însă, independent de numărul polilor, toate generatoarele produc curent de aceeași frecvență industrială, ele trebuie să efectueze în același timp curse diferite: o rotație, jumătate de rotație, o treime de rotație etc. De aceea generatoarele se rotesc cu viteze diferite: cele mai rapide sînt cele cu



Scanned with OKEN Scanner

doi poli (3 000 rot/min), cele cu 4 poli fac 1 500 rot/min, cele cu 6 poli, 1 000 rot/min etc.

Menționăm o observație foarte importantă; *sinusoida este o curbă periodică, adică nu are nici început nici sfîrșit, și de aceea, nu este obligatoriu s-o desenăm începînd de la 0°*. De aceea, putem s-o desenăm începînd de la 30°, 47°, 122° (—60°) etc. Însă, deoarece în aceste cazuri citirea începe mai tîrziu sau mai devreme, ea trebuie terminată cu același interval de timp mai tîrziu sau mai devreme.

**Producerea curenților polifazați.** Dacă în generator avem cîteva înfășurări și dacă acestea sînt constructiv identice avînd același număr de spire și de aceeași secțiune de conductor, sinusoidele care reprezintă variația t.e.m. în fiecare din acestea sînt identice. Așezarea acestor sinusoide pe desen trebuie făcută însă în conformitate atît cu așezarea reciprocă a înfășurărilor, cît și cu sensul de rotație. Vom lămuri această problemă printr-un exemplu.

În fig. 4 este reprezentat un generator cu două înfășurări *ax, by* care sînt așezate în aceleași crestături și, prin urmare, se deplasează identic față de magneți. De aceea, sinusoidele, care reprezintă variațiile t.e.m. în ambele înfășurări, coincid. Dacă rotația are loc însă în sens contrar acelor unui ceasornic, observarea variației t.e.m. începe în momentul cînd înfășurările ocupă poziția reprezentată în desen și sinusoidele sînt reprezentate, ca în fig. 4, *a*; cînd rotația se face în sensul acelor de ceasornic, sinusoidele se reprezintă altfel (fig. 4, *b*). De ce? Deoarece în primul caz conductoarele trec mai întîi sub polul Nord, iar în al doilea caz, mai întîi sub polul Sud.

Generatorul reprezentat în fig. 5, *a* are de asemenea două înfășurări însă așezate în unghi drept. De aceea ele nu trec concomitent sub poli; aceasta înseamnă că valorile maxime ale t.e.m. vor avea loc în timpi diferiți și, prin urmare, t.e.m. sinusoidale trebuie să fie decalate. Rămîne să determinăm mărimea acestui decalaj și sensul său. Aceste probleme se rezolvă în modul următor:

1. Sinusoida t.e.m. a unei înfășurări, de exemplu *ax* se trasează pe desen în mod arbitrar și prin punctul *O*, de la care vom măsura timpul, se trasează verticala *1—1* (fig. 5, *b*).

2. După fig. 5, *a* se determină cărei poziții a conductorului *a* îi corespunde punctul *O* și unde se află în



Scanned with OKEN Scanner

acest moment conductorul *b*; este el înaintea conductorului *a*, în sensul de rotație, sau rămîne în urmă față de acesta? În cazul nostru, conductorul *b* se află înaintea conductorului *a*, deoarece acesta din urmă se află încă pe axa neutră, t.e.m. a acestuia este egală cu zero, iar con-

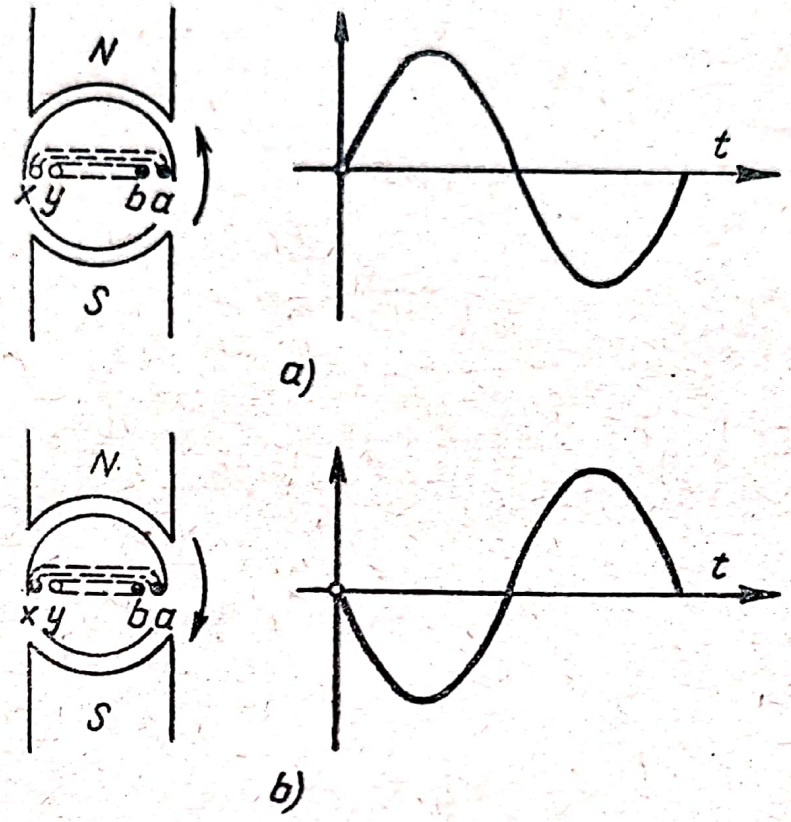



Fig. 4. Poziția sinusoidei în funcție de sensul de rotație

ductorul *b* se află deja sub pol, tensiunea lui electromotoare atingînd valoarea maximă.

3. Se determină ce semn are t.e.m. din înfășurarea *by* în punctul zero, pentru a ști cum să începem trasarea sinusoidei t.e.m. a înfășurării *by* în punctul *O*: sub axa orizontală sau deasupra acesteia.

Dacă înfășurarea *by* se află în vecinătatea polului spre care, în rotație, se apropie înfășurarea *ax*, înseamnă că t.e.m. au același semn. În exemplul nostru t.e.m. a înfășurării *ax* este pozitivă și ambele înfășurări se află în vecinătatea aceluiași pol. De aceea, t.e.m. a înfășurării *by* în punctul *O* trebuie să fie de asemenea pozitivă.

4. Se determină cu ce fracțiune de perioadă este decalată înfășurarea *by* față de înfășurarea *ax*. Aceasta se vede din fig. 5, *c* și *d*, în care sînt reprezentate generatoarele



Scanned with OKEN Scanner

cu doi poli, respectiv cu patru poli. Perioada $T$, în fiecare caz, este determinată de „distanța" dintre polii de același semn și de viteza de rotație. Este ușor de văzut că „distanța" dintre începuturile înfășurărilor, adică dintre conductoarele $a$ și $b$ este egală cu un sfert de perioadă.

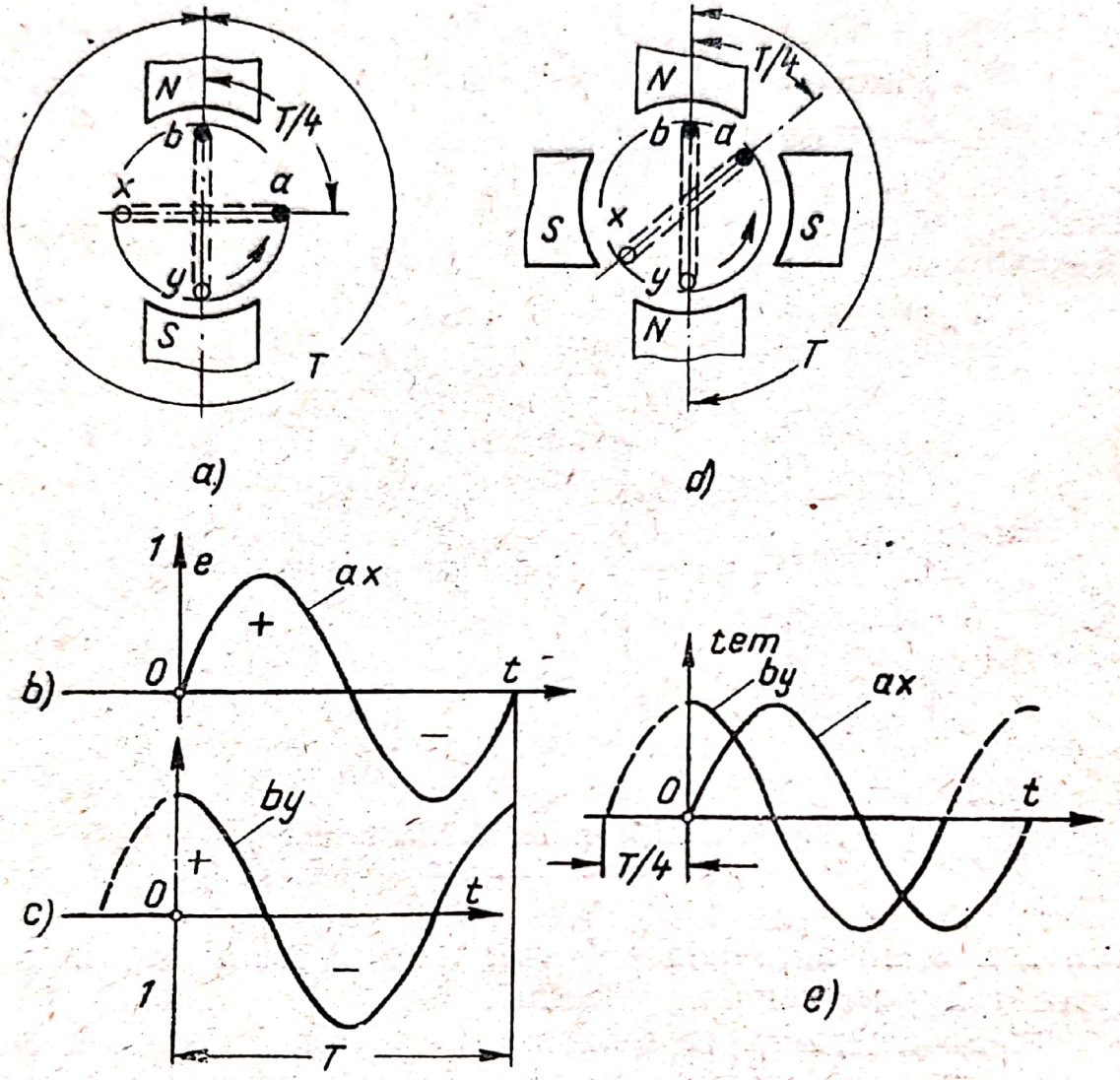



Fig. 5. Decalajul (în timp) de un sfert de perioadă al t.e.m. a două înfășurări

5. Rămîne să suprapunem t.e.m. sinusoidale ale înfășurărilor *ax* și *by*; în fig. 5, *e* este făcut acest lucru, unde se vede clar decalajul dintre acestea cu un sfert de perioadă T/4 sau cu 90°, „electrice".

Un generator cu trei înfășurări, *ax*, *by*, *cz*, este reprezentat în fig. 6. Înfășurările sînt așezate uniform pe o circumferință, adică sînt decalate, una față de alta, cu o treime de perioadă T/3 sau cu 120° „electrice". În această



Scanned with OKEN Scanner

așezare a înfășurărilor și în cazul rotației în sens contrar acelor unui ceasornic, t.e.m. a înfășurării *ax* depășește cu T/3 t.e.m. a înfășurării *by*, care la rîndul său depășește cu T/3 t.e.m. a înfășurării *cz*.

Fiecare înfășurare a generatorului (transformatorului, motorului electric de curent alternativ) se numește de obicei *fază*.

Generatoarele cu o înfășurare sînt monofazate; cele cu două înfășurări, bifazate; cele cu trei înfășurări trifazate etc. Dacă t.e.m. în diferite înfășurări ating valorile nule (sau maxime) în diferite momente, se spune că între faze există un decalaj care se exprimă în fracțiuni de perioadă sau grade „electrice".

**Faza.** S-a spus mai înainte că înfășurările generatoarelor, transformatoarelor și ale motoarelor electrice se numesc faze. Cuvîntul „fază" se utilizează însă în electrotehnică și în alte sensuri, pentru a desemna încă vreo cîteva mărimi.

*Faze se numesc de asemenea conductoarele liniilor trifazate, spre deosebire de conductorul de nul* (vezi mai jos § 3).

În sens larg, *se numește fază un moment separat în procesul de desfășurare a unui fenomen oarecare*. În procesele periodice (din care face parte și variația t.e.m. și a

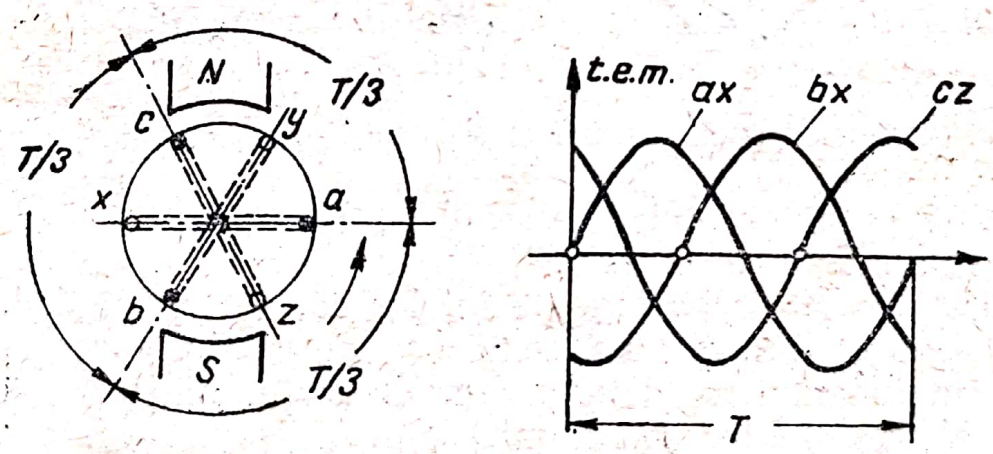



Fig. 6. Tensiunea electromotoare a trei înfășurări, decalate cu o treime de perioadă

curentului) *se numește fază, mărimea care caracterizează starea procesului oscilatoriu în fiecare moment*. Astfel, putem denumi fază, unghiul de rotație al înfășurării, deoarece fiecărui unghi îi corespunde o anumită mărime a t.e.m. și un anumit timp care s-a scurs de la începutul perioadei.



Scanned with OKEN Scanner

Începutul perioadei cînd t.e.m. este egală cu zero, se numește adesea *moment de fază nulă.*

Unghiurile de fază care determină valorile t.e.m. sau ale curenților în momentul inițial, moment de la care începe

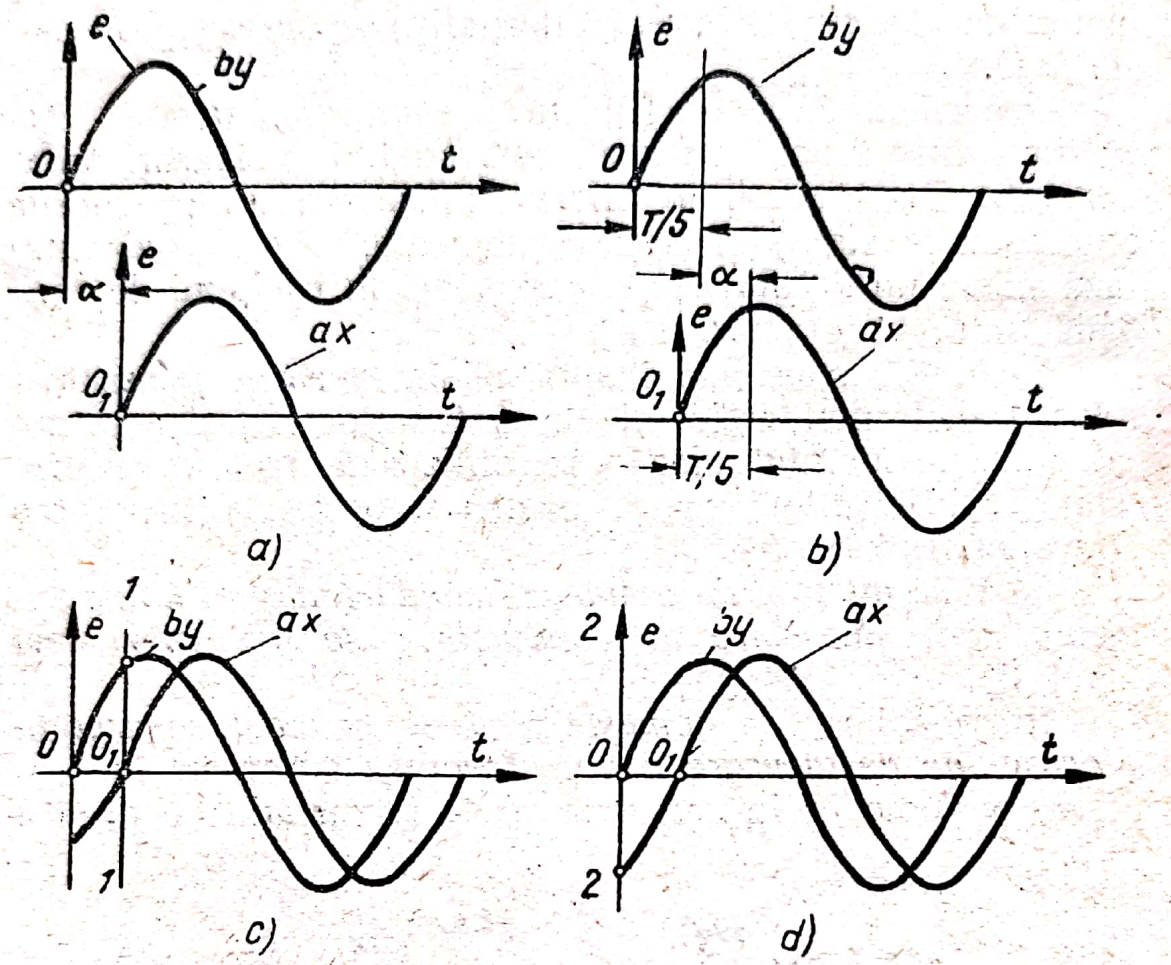



Fig. 7. Determinarea mărimii și sensului decalajului dintre faze

examinarea procesului de variație a t.e.m. sau a curentului se numesc *faze inițiale.*

Este foarte important de înțeles că, determinînd decalajul de fază dintre două t.e.m. sau dintre doi curenți trebuie întotdeauna să determinăm decalajul dintre aceleași faze ale mărimilor examinate. De exemplu, decalajul α dintre faze la momentul $t = 0$ (fig. 7, *a*) și dintre faze la momentul $t = \frac{T}{5}$ (fig. 7, *b*) este același.

La determinarea faptului dacă o sinusoidă este decalată înainte sau în urma unei alte sinusoide se procedează în modul următor. Prin punctul (de nul) $O_1$ al unei sinusoide se trasează verticala *1—1* pînă la intersecția cu cea de-a doua sinusoidă (fig. 7, *c*). Dacă verticala intersectează

sinusoida deasupra liniei orizontale înseamnă că cea de-a doua sinusoidă este decalată înainte față de prima; dacă verticala o intersectează sub linia orizontală, aceasta este decalată în urmă. Într-adevăr, verticala *1—1* trasată prin faza de zero a sinusoidei *ax*, intersectează pe *by* deasupra liniei orizontale și deci *by* este decalată înainte față de *ax*. Însă, dacă *by* este decalată înainte față de *ax*, *ax* este decalat în urmă față de *by*. De aceasta ne putem convinge trasînd verticala *2—2* (fig. 7, *d*) prin faza de zero a lui *by* care intersectează sub linia orizontală sinusoida *ax* decalată în urmă.

În standard, începuturile înfășurărilor sînt însemnate cu literele *A*, *B*, *C* pentru tensiunea înaltă și *a*, *b*, *c* pentru tensiunea joasă. Sfîrșiturile înfășurărilor se notează respectiv cu *X*, *Y*, *Z* și *x*, *y*, *z*. Avînd în vedere că la centralele și substațiile electrice barele care aparțin diferitelor faze se vopsesc cu vopsea galbenă, verde și roșie, fazele se notează cîteodată și cu inițialele culorilor.

Sensul de rotație al fazelor este dat de succesiunea în care în înfășurările diferitelor faze t.e.m. (curenții) ating în timp valorile maxime. Dacă rotirea indusului generatorului are loc în sens contrar sensului acelor unui ceasornic, după cum se arată în fig. 6, fazele se rotesc în sensul *ax*, *by*, *cz*. Dacă se schimbă sensul de rotație al rotorului se va schimba și sensul de rotație al fazelor : ele vor începe să se rotească în sens invers adică *ax*, *cz*, *by*. Problema rotației fazelor este examinată mai amănunțit în § 9.

**Vectori.** În tehnica curenților alternativi, variațiile periodice ale t.e.m. (curenților) se reprezintă adesea prin vectori, adică prin segmente de dreaptă de o anumită mărime și de o anumită direcție.

Cu ajutorul vectorilor se pot rezolva o serie de probleme. Dintre problemele pe care le examinăm ne interesează două :

a. determinarea valorilor instantanee ale t.e.m. ;

b. determinarea decalajului fazelor (defazajului) dintre două sau mai multe t.e.m.

Pentru determinarea valorilor instantanee, vectorul trebuie să aibe lungimea egală cu valoarea maximă a t.e.m. Inițial direcția vectorului coincide cu direcția axei orizontale. Apoi, vectorul se rotește și se proiectează pe axa fixă verticală. Lungimea proiecțiilor determină valorile instantanee ale t.e.m. pentru fiecare unghi de rotație (fig. 8).



Scanned with OKEN Scanner

În această figură variațiile t.e.m. sînt reprezentate atît printr-o sinusoidă pe care sînt însemnate valorile instantanee ale t.e.m. pentru fiecare optime de perioadă, cît și prin proiecțiile vectorului pe axă, pentru aceleași fracțiuni de perioadă.

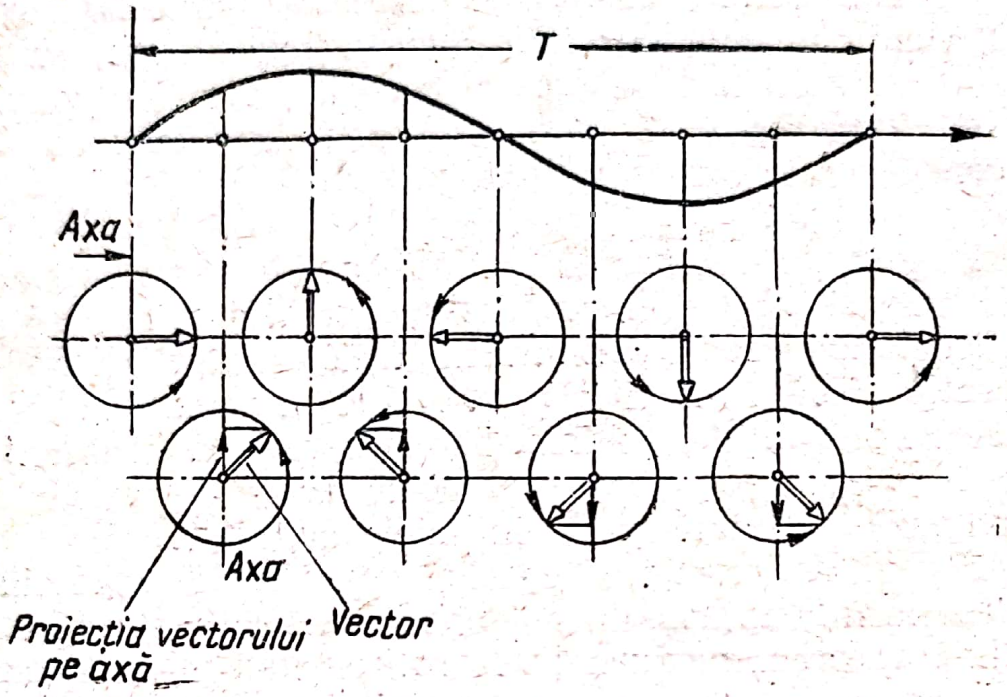



Fig. 8. Determinarea valorilor instantanee ale t.e.m. cu ajutorul unui vector rotitor

Pentru reprezentarea decalajului dintre două sau mai multe t.e.m., fiecare din acestea se reprezintă printr-un vector. Originile vectorilor coincid. Unghiul dintre ei determină decalajul.

Tehnica trasării vectorilor pentru două t.e.m. se explică în fig. 9, *a*. În stînga acestei figuri sînt reprezentate sinusoidele și se vede clar că $e_2$ este decalată înaintea lui $e_1$ cu unghiul $\alpha$. În dreapta t.e.m. $e_1$ este reprezentată prin vectorul $E_{1m}$, care este așezat pe orizontală, iar săgeata indică sensul de rotație [1]. Apoi în acest sens se înseamnă unghiul $\alpha$ și se trasează vectorul t.e.m. $E_{2m}$.

Construcția poate fi efectuată și altfel. După trasarea vectorului $E_{1m}$ (care este așezat orizontal, adică astfel ca proiecția sa pe axa $1—1'$ să fie egală cu valoarea instan-

[1] În electrotehnică valorile instantanee ale mărimilor sinusoidale se notează cu litere mici cursive (în exemplul nostru $e$, $e_2$), iar valorile maxime cu litere mari purtînd indicele $m$ în exemplul nostru $E_{1m}$ și $E_{2m}$.

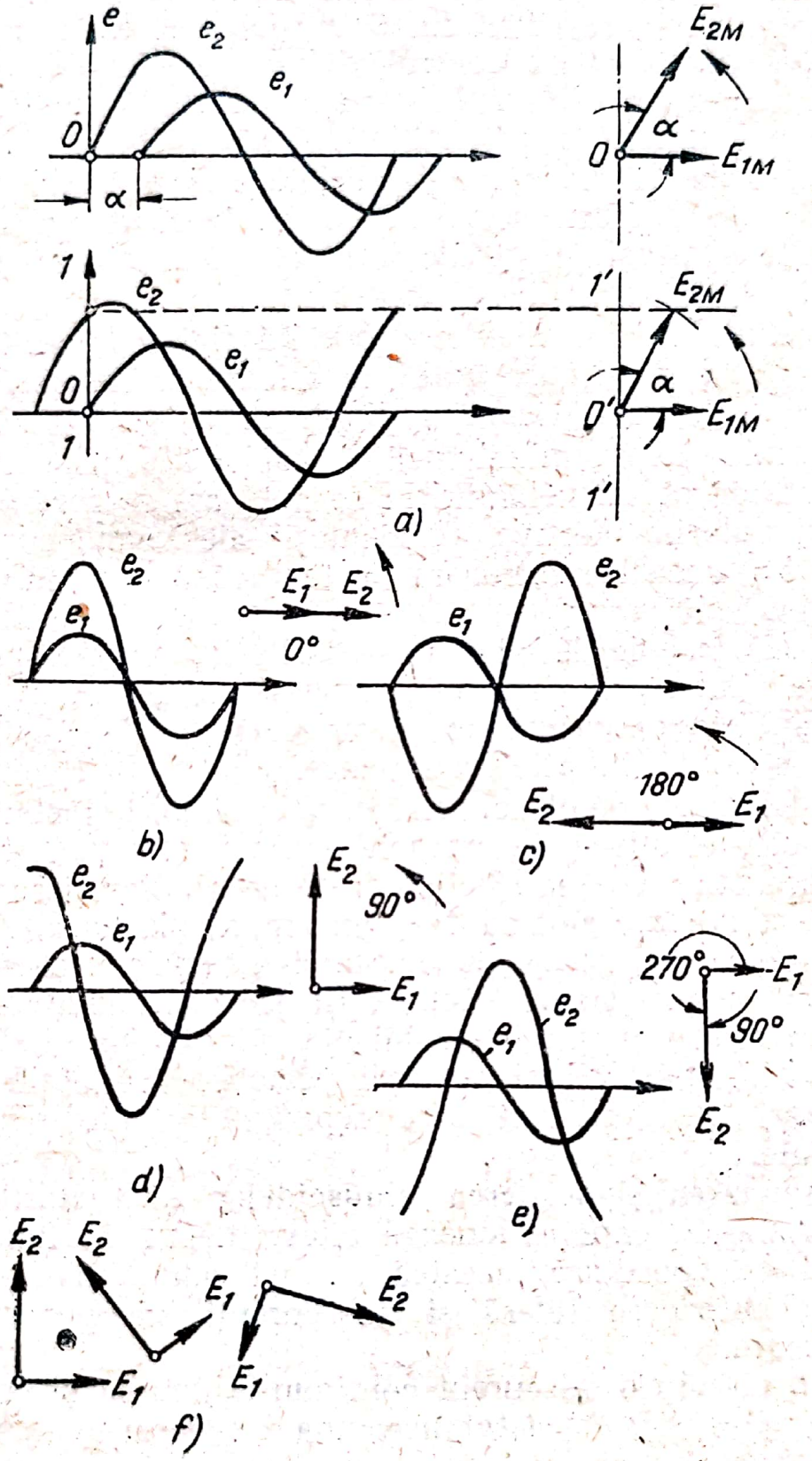



Fig. 9. Reprezentarea decalajului cu ajutorul vectorilor



Scanned with OKEN Scanner

tanee a lui $e_1$ în punctul $O$), prin punctul de intersecție al sinusoidei $e_2$ cu verticala $1—1$ se trasează o linie punctată orizontală (aceasta marchează valoarea instantanee a t.e.m. $e_2$, corespunzătoare punctului $O$). Apoi cu o rază egală cu $E_{2m}$ din punctul $O'$ ca centru se face un semn după care se trasează vectorul $E_{2m}$. Prin această metodă unghiul $\alpha_1$ se obține automat.

Exemple de diagrame vectoriale, adică combinații de vectori care reprezintă mărimi sinusoidale avînd aceeași frecvență și decalaje diferite între ele $e_1$ și $e_2$ sînt date în fig. 9, *b*—*f*.

Trebuie dată o atenție deosebită fig. 9, *f* care corespunde fig. 9, *d* și care arată că oricare ar fi poziția diagramei vectoriale, decalajul dintre t.e.m. nu se schimbă.

Rămîne de examinat încă o problemă importantă care stîrnește de obicei nelămuriri: se pot oare reprezenta prin vectori valorile efective (eficiente) [1] ale t.e.m., curenților etc.? La această întrebare putem răspunde în modul următor.

Dacă trebuie determinate valorile instantanee ale unei mărimi sinusoidale este mai comod să se ia un vector care reprezintă valoarea maximă deoarece proiecția acestuia pe axă reprezintă valorile instantanee.

În practică de obicei lucrăm nu cu valorile instantanee, ci cu cele efective; de exemplu spunem 127 V, înțelegînd prin aceasta valoarea efectivă și nu ne gîndim nici la valorile maxime care sînt cu 41% mai mari, nici la alte valori instantanee. De aceea, de obicei, diagramele vectoriale se trasează pentru valori efective. În acest caz unghiurile de decalaj dintre curenți, tensiuni etc. se văd foarte clar, iar rezultatele adunării și scăderii vectorilor se obțin direct în valori efective, fapt care reprezintă o deosebită comoditate.

**Adunarea și scăderea sinusoidelor și vectorilor.** În instalațiile în care acționează cîteva t.e.m., în funcție de modul de conectare, acestea se pot aduna sau scădea. Același lucru se referă și la curenți în punctele de ramificare.

În circuitele de curent continuu adunarea și scăderea se fac algebric. Aceasta înseamnă că dacă o t.e.m. este

---

[1] Valorile efective sînt reprezentate prin litere mari fără indicele *m*: *E*, *U*, *I*.



Scanned with OKEN Scanner

egală cu 5 V și alta cu 18 V suma lor reprezintă 5+18=23 V, iar diferența lor 5 — 18 = — 13 V. Semnul minus desemnează un curent de semn neschimbat în raport cu prima t.e.m.

În circuitele de curent alternativ adunarea și scăderea se fac mai complicat.

Pentru a aduna două sinusoide $e_1$ și $e_2$ trebuie:

a) să se deseneze cîteva linii verticale *1, 2, 3, 4, 5* etc. pe care sinusoidele taie valorile instantanee ale t.e.m. (fig. 10, *a*);

b) valorile instantanee se adună algebric și sumele obținute, care reprezintă valorile instantanee ale t.e.m. rezultante sub formă de segmente de dreaptă, se așază pe aceleași verticale (fig. 10, *b*);

c) vîrfurile segmentelor care reprezintă valorile instantanee rezultante se unesc cu o linie continuă obținîndu-se astfel o sinusoidă rezultantă, $e_1 + e_2$.

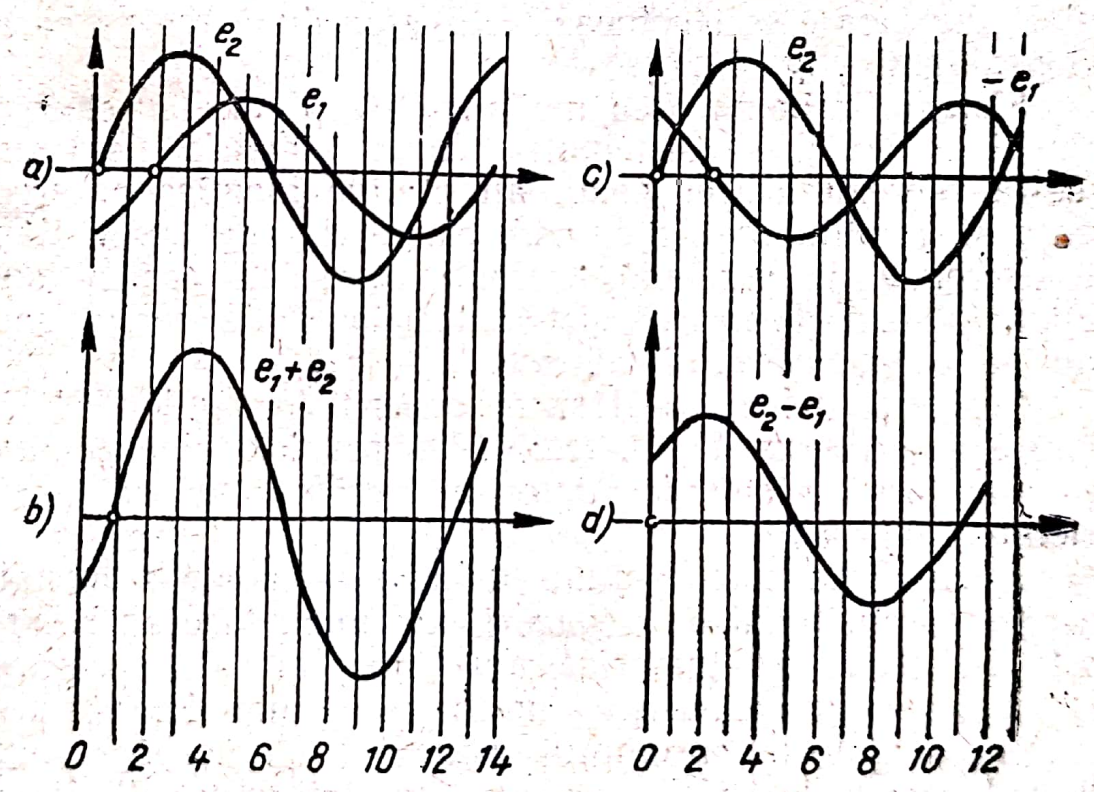



Fig. 10. Adunarea și scăderea sinusoidelor

Pentru a scădea o sinusoidă din altă sinusoidă, de exemplu $e_1$ din $e_2$ (fig. 10, *a*), trebuie considerată sinusoida $e_1$ $(t)$ adică trebuie oglindită sinusoida $e_1$ $(t)$ pe axa orizontală (fig. 10, *c*). Apoi sinusoidele $e_2$ și $-e_1$ se adună (fig. 10, *d*) după cum s-a descris mai sus. Într-un cuvînt

scăderea sinusoidelor se bazează pe regula cunoscută care spune că scăderea este același lucru cu adunarea algebrică.

Vectorii se adună după regula paralelogramului (fig. 11, *a*).

Pentru a scădea un vector din altul, vectorul de scăzut se rotește cu 180° (adică se ia vectorul opus descăzutului) după care se efectuează adunarea după regula paralelogramului (fig. 11, *b*).

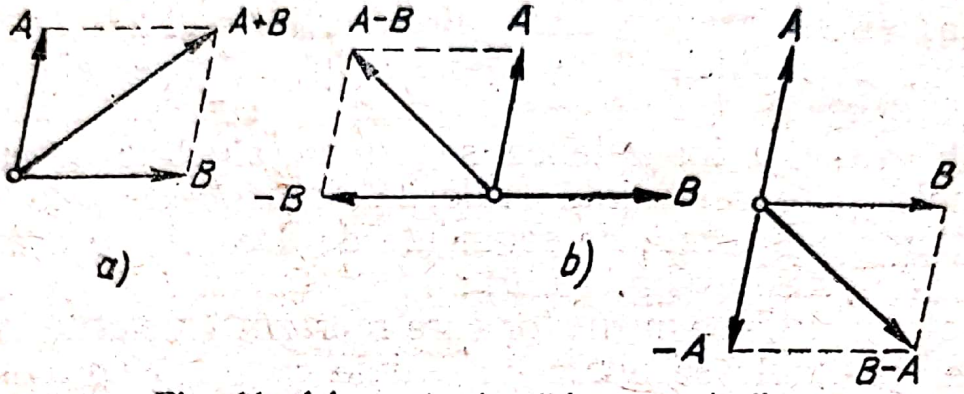



Fig. 11. Adunarea și scăderea vectorilor

**Sistemul trifazat.** Cea mai mare răspîndire în electrotehnică a căpătat-o sistemul trifazat simetric de t.e.m. Acesta reprezintă trei t.e.m. alternative identice ca frecvență și amplitudine, între care există un decalaj în timp de o treime de perioadă. Curenții care iau naștere sub acțiunea t.e.m. formează sistemul trifazat de curent sau, cum se spune, *curentul trifazat.*

Curentul trifazat a fost descoperit în anul 1891 de către inginerul rus M. O. Dolivo-Dobrovolski și a căpătat cea mai largă răspîndire datorită următoarelor sale proprietăți remarcabile:

a) cu ajutorul curentului trifazat se poate transmite energia cu cheltuieli de două ori mai mici, în ceea ce privește cantitatea de material conductor față de necesarul pentru transmiterea energiei unui curent monofazat;

b) cu ajutorul curentului trifazat în înfășurările fixe ale motoarelor electrice se produce un cîmp magnetic învîrtitor care antrenează după sine rotoarele motoarelor electrice asincrone, care sînt cele mai simple, în ceea ce privește construcția, și cele mai răspîndite.

În funcție de modul legăturii generatoarelor, transformatoarelor și receptoarelor de energie trifazată, se pot obține diferite rezultate practice la a căror examinare trecem în cele ce urmează.



Scanned with OKEN Scanner

## § 3. CUM SE FORMEAZĂ LEGĂTURĂ IN STEA

### Legătura în stea a generatorului trifazat

Reprezentăm pe desen imaginile a trei înfășurări *ax*, *by* și *cz* ale generatorului trifazat sub unghiuri de 120°, așa cum se arată în fig. 12, *a*. Legăm sarcini la fiecare înfășurare. In acest caz, acestea sînt reprezentate prin impedanțele $z_a$, $z_b$, și $z_c$. In practică sarcina poate fi formată din lămpi, cuptoare electrice, motoare electrice și alți consumatori de energie electrică. Pentru legarea impedanțelor sînt necesare 6 conductoare. In fiecare moment trei dintre ele sînt directe (de ducere), curentul prin ele merge de la generator spre sarcină. Celelalte trei conductoare sînt inverse (de întoarcere).

Vectorii $E_a$, $E_b$ și $E_c$ sînt așezați paralel cu înfășurările și reprezintă t.e.m. ale acestora. Tensiunile $U_a$, $U_b$, și $U_c$ sînt mai mici decît t.e.m. respective, cu valoarea căderii de tensiune în înfășurări. Sensurile curenților $I_a$, $I_b$ și $I_c$ sînt reprezentate prin săgeți.

Inlocuirea conductoarelor inverse (de întoarcere) cu unul singur duce la obținerea schemei cu patru conductoare (fig. 12, *b*). In această schemă conductoarele legate la bornele generatorului *a*, *b* și *c* se numesc *de linie* (sau simplu faze). Conductorul comun se numește sau *neutru*, în baza faptului că el aparține în aceeași măsură tuturor fazelor, sau *de nul*, deoarece într-o serie de cazuri curentul în acest conductor este egal cu zero.

Se pune în mod natural următoarea întrebare: poate fi oare egal cu zero curentul în conductorul prin care trebuie să se întoarcă la generator curenții celor trei faze? Răspunsul îl dă fig. 12, *c* unde curenții $I_a$, $I_b$ și $I_c$ sînt reprezentați prin vectori, a căror sumă formează curentul $I_0$ și unde se efectuează însumarea lor. Mai întîi se adună curenții a două faze și apoi suma obținută se adună cu curentul celei de a treia faze. Ca rezultat se obține zero, deoarece suma curenților a două faze, ceea ce se vede clar din fig. 12, *c*, este egală ca mărime cu curentul celei de a treia faze și este îndreptată în sens opus.

Sensul fizic al rezultatului obținut consistă în aceea că, datorită decalajului dintre curenți, în fiecare moment curenții în unele conductoare de linii merg de la gene-

ratori, spre sarcină, iar alții de la sarcină spre generatori. Cu alte cuvinte unele conductoare, dintre acestea, sînt directe iar altele inverse. Se înțelege că rolul conductoarelor din linie, ca directe și inverse se schimbă în permanență însă, indiferent de aceasta, în cazul unei încărcări uniforme (identice) a fazelor, prin conductorul de nul nu trece curent.

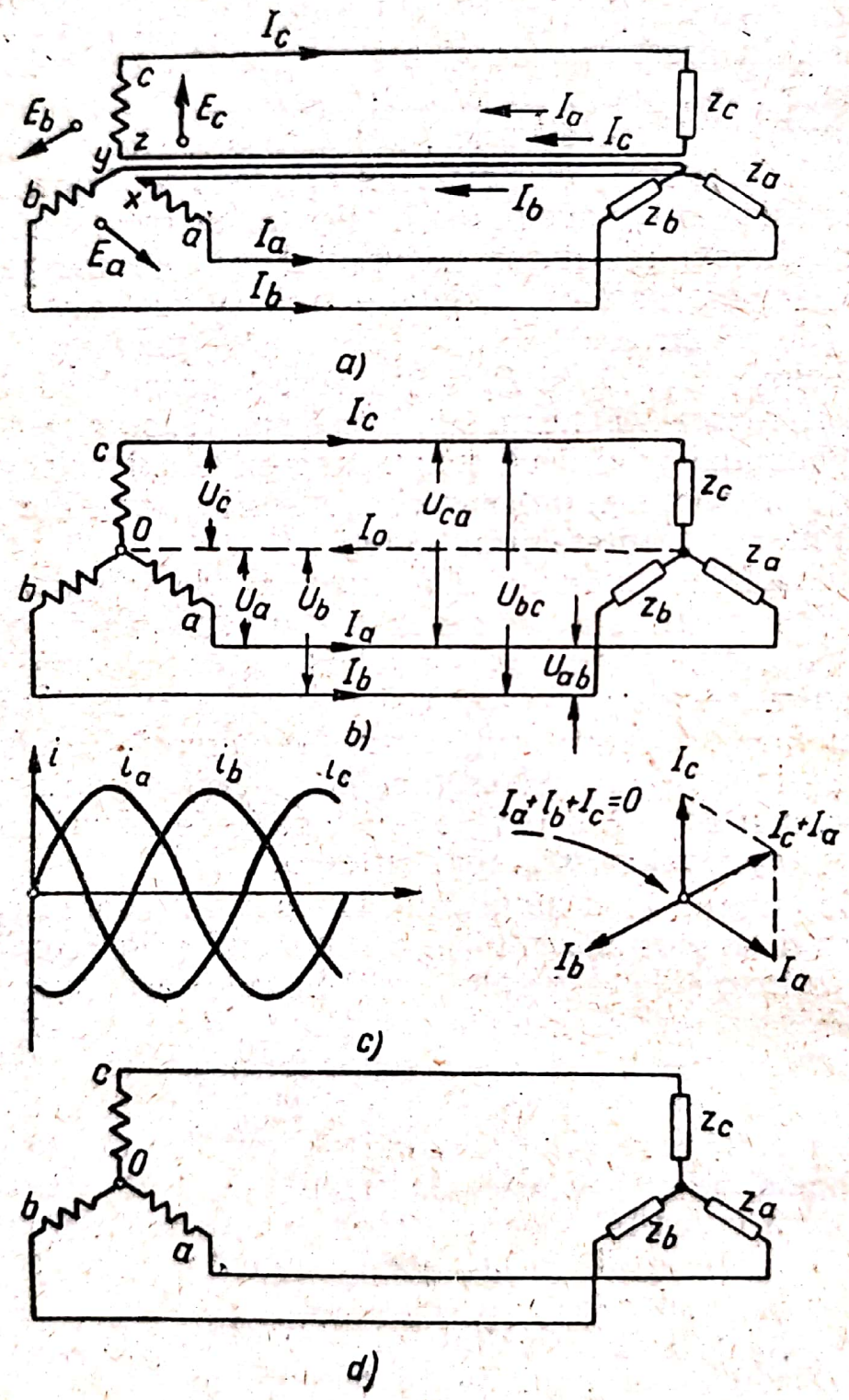



Fig. 12. Legarea în stea a generatoarelor



Scanned with OKEN Scanner

În cazul sarcinii neuniforme, prin conductorul de nul trece numai curentul de dezechilibru al curenților.

De aceea, secțiunea conductorului de nul nu este mai mare decît secțiunea conductoarelor de linie, ci, de regulă, este de două ori mai mică.

În cazul încărcării uniforme a fazelor nu se pune conductor de nul, obținînd astfel un sistem cu trei conductoare (fig. 12, *d*).

Independent de faptul că schema este realizată cu 6, 4 sau 3 conductoare (ceea ce pentru practică nu este indiferent în primul rînd pentru că schemele cu 3 conductoare sînt mai ieftine, pentru că fiecare schemă are anumite proprietăți și este destinată pentru anumite condiții), sistemul nu încetează de a fi trifazat.

Tensiunile electromotoare $E_a$, $E_b$ și $E_c$, tensiunile $U_a$ $U_b$ și $U_c$ și curenții $I_a$, $I_b$ și $I_c$ ai fiecărei înfășurări de fază se numesc *tensiuni*, respectiv *curenți de fază*. Atît tensiunile $U_{ab}$, $U_{bc}$ și $U_{ca}$ care acționează între conductoarele de linie cît și curenții din conductoarele de linie $I_a$, $I_b$ și $I_c$ se numesc *tensiuni* respectiv *curenți de linie*.

În cazul legăturii în stea curenții de fază și de linie sînt egali. Cum se explică aceasta? Prin aceea că pentru curentul care trece prin înfășurarea de fază nu există altă cale în afara conductorului de linie și aceasta înseamnă că, în ele, curenții sînt identici.

*Tensiunile de linie (tensiunile dintre faze) sînt mai mari decît cele de fază* de $\sqrt{3} = 1{,}73$ ori; de aici rezultă cunoscutele rapoarte: 127/220 V ($127 \times 1{,}73 = 220$); 220/380 V ($220 \times 1{,}73 = 380$); 6,3/11 kV ($6{,}3 \times 1{,}73 = 11$) etc.

Cum să demonstrăm că tensiunile de linie sînt de $\sqrt{3} = 1{,}73$ ori mai mari decît cele de fază? Pentru aceasta va trebui să începem de la simplu, printr-un exemplu ușor de înțeles. Două baterii cu t.e.m. $E_1 = 5$V și $E_2 = 7$V pot fi legate sau în serie ca în fig. 13, *a*, sau în paralel ca în fig. 13, *b*. În primul caz sînt legate *bornele de semne opuse*; plusul (începutul) unei baterii cu minusul (sfîrșitul) celeilalte și t.e.m. care acționează între bornele de semne opuse libere este egală cu suma $E_1 + E_2 = 5 + 7 = 12$ V. În al doilea caz sînt legate *bornele de aceleași semne* ale bateriilor: plusul unei baterii cu plusul celeilalte și t.e.m. care acționează între bornele libere de același semn este egală cu diferența $E_1 - E_2 = 5 - 7 = -2$V.



Scanned with OKEN Scanner

Semnul minus arată schimbarea sensului tensiunii în comparație cu cea care era cînd acționa o singură t.e.m. $E_1$. Pe scurt, la legarea în serie t.e.m. rezultantă este egală cu suma t.e.m. individuale iar la legarea bateriilor în paralel

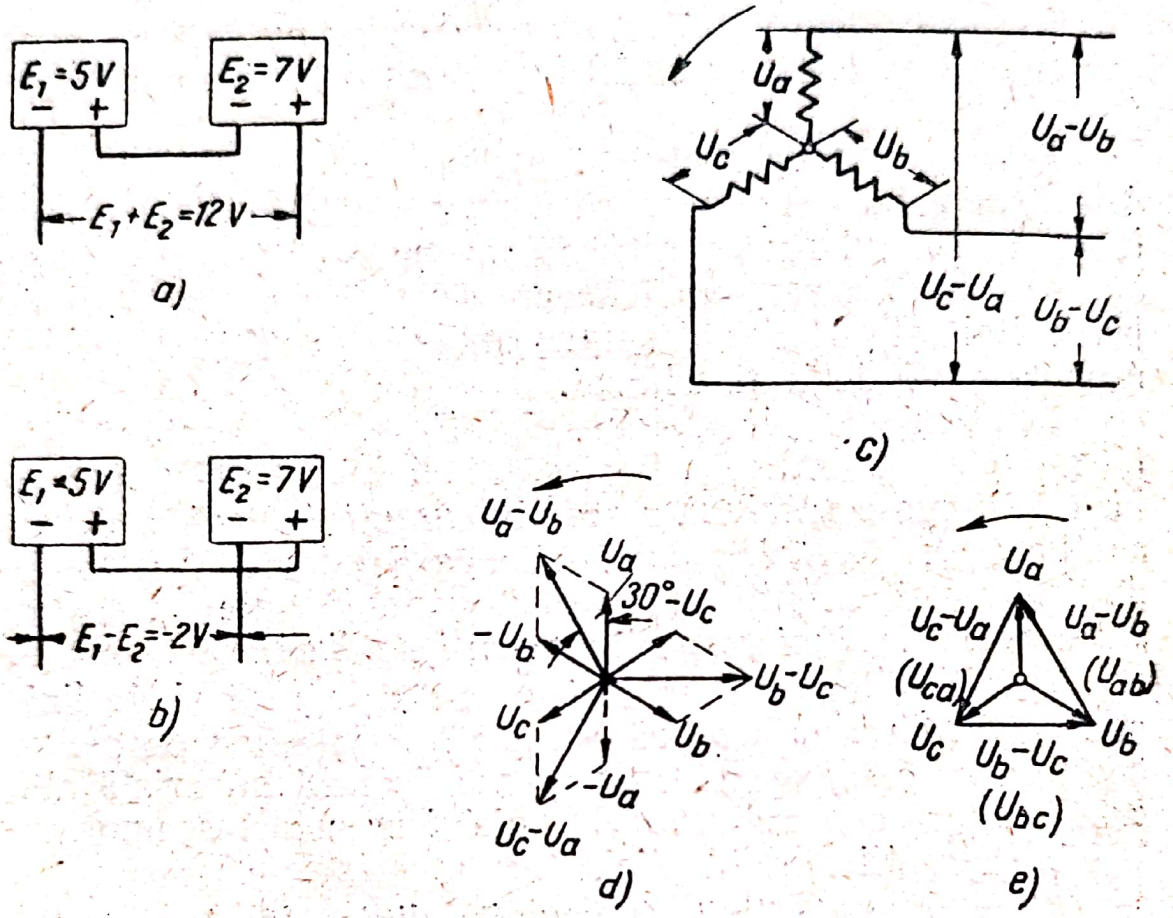



Fig. 13. Determinarea tensiunilor de linie în cazul legăturii în stea

t.e.m. rezultantă este egală cu diferența dintre t.e.m. componente și are sensul celei mai mari t.e.m.

Acum ne putem întoarce la legătura în stea. Deoarece în acest caz se leagă bornele de același semn (sau începuturile sau sfîrșiturile), tensiunea de linie rezultantă se determină prin scădere. Raționînd după schema reprezentată în fig. 13, *c* în care se indică sensul de rotație al fazelor și sînt însemnate diferențele $U_a - U_b$, $U_b - U_c$ și $U_c - U_a$ (scăderea se face întotdeauna în același sens, adică din tensiunea fazei decalate înainte se scade tensiunea fazei decalate în urmă) în fig. 13, *d* se efectuează scăderea. Măsurînd direct lungimile vectorilor sau utilizînd formulele din geometrie, se vede clar că tensiunile de linie (dintre faze) sînt de $\sqrt{3} = 1{,}73$ ori mai mari decît cele de fază.

Din fig. 13, *d* reiese clar că diagrama vectorială a tensiunilor simetrice de linie ($U_a - U_b$, $U_b - U_c$ și $U_c - U_a$) este decalată cu 30° în sensul de rotație al vectorilor față de diagrama tensiunilor de fază $U_a$, $U_b$ și $U_c$. Cu alte cuvinte tensiunea $U_a - U_b$ este decalată cu 30° înaintea tensiunii $U_a$; $U_b - U_c$ este decalată cu 30° înaintea lui $U_b$ iar $U_c - U_a$ este decalată cu 30° înaintea lui $U_c$.

Mai facem încă un pas. Mutăm vectorii $U_a - U_b$, $U_b - U_c$ și $U_c - U_a$ (fig. 13, *d*) paralel cu ei înșiși astfel ca originile și extremitățile lor să vină în extremitățile vectorilor $U_a$, $U_b$ și $U_c$ care formează o stea. Astfel se obține un triunghi (fig. 13, *e*). Din acest triunghi rezultă direct că:

— pentru determinarea mărimii tensiunilor de linie este suficient să se construiască în jurul stelei tensiunilor de fază un triunghi;

— pentru determinarea sensurilor tensiunilor de linie, vectorii care formează laturile triunghiului trebuie să aibe săgețile în sensul de rotație al fazelor.

În fig. 13, *e* tensiunile de linie sînt notate nu numai ca diferența dintre tensiunile de fază corespunzătoare, ci sînt notate și cu o literă cu doi indici în exemplul nostru $U_{ab}$ ($U_{bc}$ și $U_{ca}$). Este ușor de văzut că ordinea indicilor nu este arbitrară: aceasta arată în ce sens s-a efectuat scăderea.

Astfel, dintr-o tensiune de fază am scăzut o mărime egală ca valoare, însă nu am obținut zero, ci o mărime de 1,73 ori mai mare. Acest rezultat nu este de neașteptat, deoarece nu s-a efectuat o scădere algebrică, ci una geometrică (vectorială).

Ne folosim de acest caz pentru a sublinia încă o condiție importantă de care ne vom lovi în viitor de nenumărate ori. Aceasta constă în faptul că în cazul scăderii geometrice (vectoriale) a unei mărimi din alta, egale ca modul [1], spre deosebire de scăderea algebrică, se poate obține nu numai un vector avînd modulul zero, ci orice vector care are modulul cuprins între zero și dublul modulului vectorului inițial. Cele spuse aici sînt ilustrate în cîteva exemple date în fig. 14. În stînga se efectuează scăderea a doi vectori care au aceeași fază (decalaj 0°) și

[1] Un vector este caracterizat atît de lungime și direcția sa cît și de sensul său. Lungimea vectorului se numește modul, intensitate sau mărime.



Scanned with OKEN Scanner

natural s-a obținut vectorul zero. Mai la dreapta se scad doi vectori decalați cu 45°; modulul vectorului diferență este egal cu 0,707 din lungimea unuia din vectori. Și așa mai departe. În sfîrșit, în fig. 14 în dreapta, este reprezentată scăderea a doi vectori, în care vectorul diferență are modulul egal cu de două ori modulul scăzătorului.

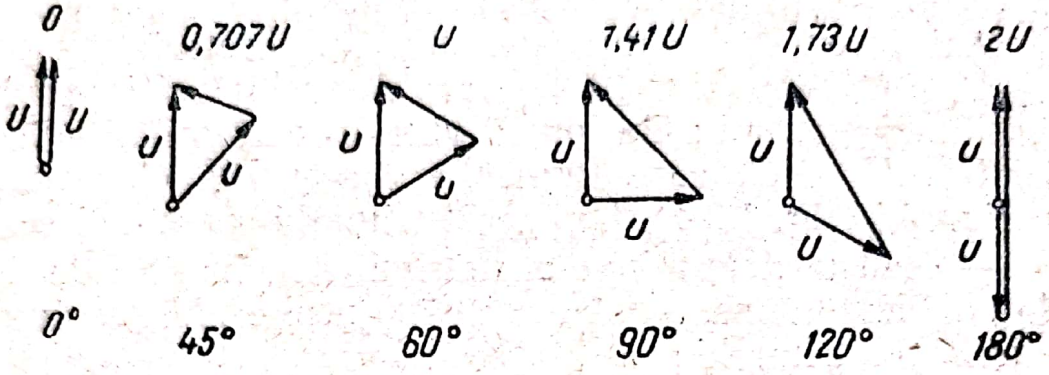



Fig. 14. Variația diferenței dintre doi vectori în funcție de decalajul dintre acești vectori

**Legătura în stea a receptoarelor de curent.** Receptoarele de curent pot reprezenta, fie o sarcină concentrată, fie una distribuită. În afară de aceasta, sarcina poate fi uniformă ca de exemplu, înfășurările motoarelor electrice trifazate, cît și neuniformă, ca de exemplu, lămpile care luminează casele, străzile etc.

Sarcini concentrate sînt: motoarele electrice (fig. 15, *a*), bateriile de condensatoare (fig. 15, *b*), candelabrele unde toate cele trei faze sînt așezate în imediata apropiere.

Sarcini distribuite sînt rețelele de iluminat ale caselor (fig. 15, *c* și *d*) unde de la cofretul *1* prin casa scării se separă coloanele *2*, iar de la ele la rîndul lor sînt făcute ramificațiile *3* în apartamente. Este foarte important de a înțelege că la rețelele de iluminat nu în toate porțiunile există o sarcină trifazată. Într-adevăr, pînă la cofretul de intrare merg 4 conductoare de alimentare: *a*, *b*, *c* și 0. Aceasta este o adevărată rețea trifazată; în această rețea prin conductorul de nul trece numai curentul de dezechilibru al întregei clădiri, determinat de neuniformitatea sarcinii fazelor. Aici secțiunea conductorului de nul trebuie să fie egală cu jumătatea secțiunii conductorului de linie. Aceasta se referă și la coloanele reprezentate în fig. 15, *c*, unde prin conductorul de nul trece curentul de dezechilibru în cadrul casei scării date. În ceea ce privește coloanele din fig. 15, *d* (avînd fiecare numai o fază și nulul) cît și

ramificațiile din apartamente, cu toate că se alimentează de la rețeaua trifazată reprezintă o sarcină monofazată. Aici și prin conductorul de fază și prin cel de nul trece același curent (alte căi nu există) și de aceea secțiunile lor trebuie să fie identice.

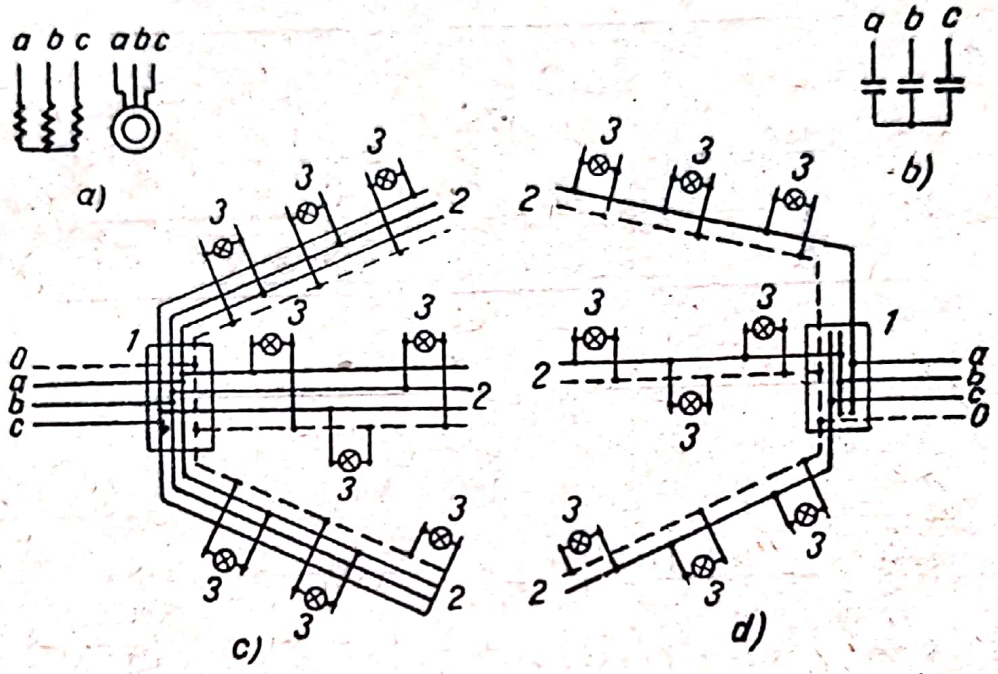



Fig. 15. Legarea în stea a receptoarelor de curent

*Observații :*

In cazul sarcinii uniforme (fig. 15, *a* și *b*) se utilizează schema cu trei conductoare iar în cazul sarcinii neuniforme (fig. 15, *b* și *c*), schema cu 4 conductoare.

Pentru a înțelege de ce se procedează astfel, să analizăm fig. 16. În fig. 16, *a* sînt reprezentate trei grupe de lămpi cu incandescență identice (adică avînd tensiuni nominale egale, în cazul nostru 127 V, și puteri egale).

Date fiind aceste condiții, la tensiunea de linie a rețelei de 220 V, lămpile vor arde normal, însă atît numărul lămpilor conectate simultan, cît și puterea lor în rețelele de iluminat depind de dorința consumatorilor. Într-un caz particular sarcina unei faze, de exemplu, sarcina fazei *C* poate fi pentru un anumit timp complet deconectată (fig. 16, *b*), și atunci sarcinile celorlalte două faze vor fi legate în serie. Dacă ele sînt egale tensiunea de linie se va împărți egal între ele și lămpile vor arde puțin mai slab deoarece $220\ V : 2 = 110\ V < 127\ V$ care e tensiunea lor nominală. Cu mult mai rău este dacă o parte din lămpi vor fi întrerupte de exemplu așa cum se indică în fig. 16, *c*.

Într-adevăr, rezistența unei lămpi cu incandescență este de trei ori mai mare decît rezistența grupei formate din trei lămpi identice, legate în paralel. Înseamnă că tensiunea de 220 V se împarte între ele neuniform: rezistenței mai mari îi va reveni 165 V (3/4 din 220 V) și lampa poate să

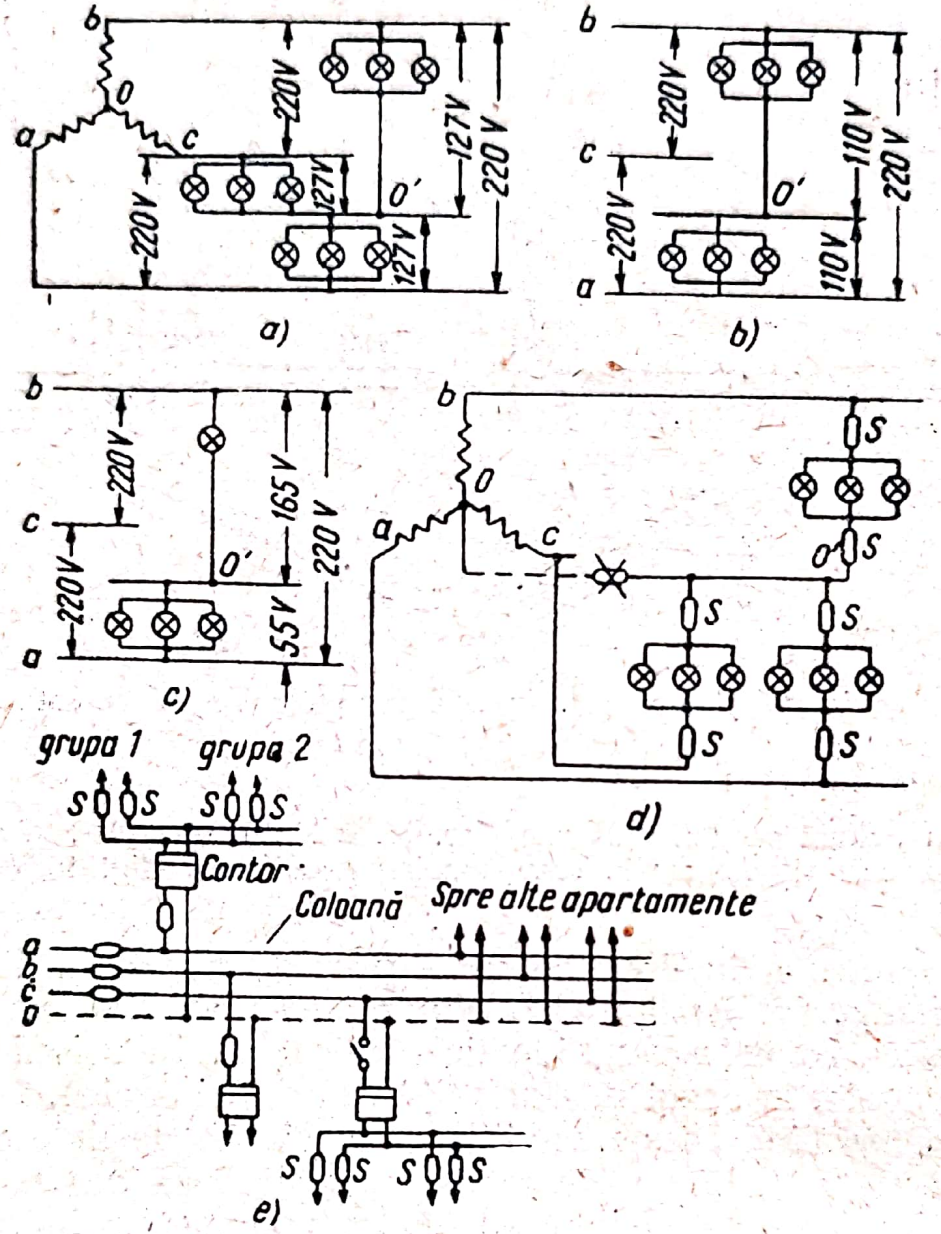



Fig. 16. Particularitățile legăturii în stea a rețelei de iluminat

se ardă: rezistenței mai mici îi revin în total 55 V (1/4 din 220 V) [1].

[1] Riguros vorbind, tensiunea se va împărți altfel, și anume: cu cît filamentul lămpii este mai cald, cu atît rezistența sa este mai mare și deoarece o lampă este suprasolicitată și 3 lămpi sînt subsolicitate, diferența dintre rezistențele lor va fi și mai mare.



Scanned with OKEN Scanner

În cazul schemei cu 4 conductoare neuniformitatea sarcinii fazelor nu are o influență atît de puternică asupra filamentului lămpilor. Cum se explică aceasta? Prin aceea că sarcina fiecărei faze este legată direct la ambele borne ale înfășurării de fază a generatorului sau la înfășurarea secundară a transformatorului.

Însă, trebuie menționat că neuniformitatea sarcinii fazelor, chiar și în prezența conductorului de nul, este nedorită. Aceasta în deosebi în acele cazuri cînd sarcina este alimentată de la înfășurarea secundară a transformatorului legat în stea, deoarece, datorită sarcinii neuniforme, în transformator se deranjează echilibrul magnetic. Această problemă este examinată mai amănunțit în § 8.

Atragem atenția încă asupra unei probleme importante; la conductorul de nul nu este permisă montarea unei siguranțe (în fig. 16, *d* aceasta este tăiată). Să considerăm că am montat această siguranță și ea s-a ars. În acest caz, schema cu 4 conductoare se transformă într-o schemă cu 3 conductoare, cu toate neajunsurile proprii acesteia, în cazul sarcinii neuniforme a fazelor.

În conformitate cu regulile de instalare ale echipamentului electric, la începutul coloanei în conductorul de nul nu este permisă montarea siguranței (a întreruptorului automatului). La cofretele de scară pe etaje, de unde alimentarea se distribuie pe apartamente, siguranțele se montează numai în conductorul de fază (fig. 16, *e*) sau nu se pun de loc siguranțe. În acest caz, însă, este obligatorie montarea unui întreruptor cu ajutorul căruia întregul apartament poate fi deconectat de la coloană.

În apartamente unde siguranțele sînt accesibile persoanelor care nu au pregătire electrotehnică specială, din care cauză nu este exclusă o stare proastă a siguranțelor, acestea se pun în mod obligatoriu la ambele conductoare, pentru a asigura protecția contra incendiilor. Nu e în contrazicere oare aceasta cu cele spuse mai sus referitor la faptul că nu se admite montarea siguranțelor pe conductorul de nul? De loc, deoarece sarcina în limitele apartamentului este monofazată. Înseamnă că arderea siguranței pe oricare din conductoare (de fază sau de nul, indiferent) nu poate duce la suprasolicitarea lămpilor: acestea se sting.

**Legătura în stea a înfășurărilor transformatoarelor.** În stea pot fi legate atît înfășurările primare *1*, cît și înfășurările secundare *2* ale transformatoarelor *T*, acestea putînd



Scanned with OKEN Scanner

fi sau trei transformatoare monofazate (fig. 17, *a*) sau un transformator trifazat (fig. 17, *b*). Din fig. 17, *c*—*f* se vede că se pot lega în stea înfășurările transformatoarelor nu numai într-un singur mod, ci în mai multe moduri, fapt care este examinat mai amănunțit în § 7.

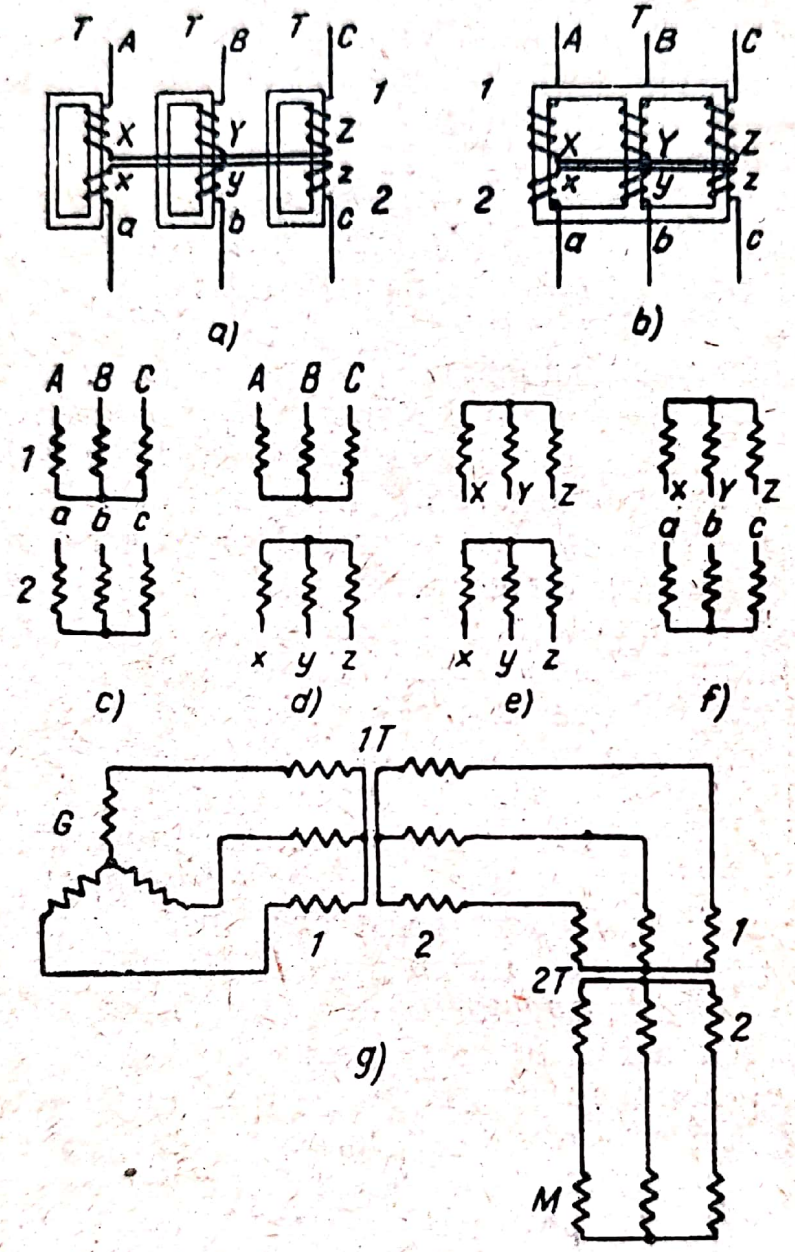



Fig. 17. Legarea în stea a transformatoarelor

Deocamdată menționăm că înfășurările primare ale transformatorului *1 T* (fig. 17, *g*) pot fi privite ca receptori de curent ai generatorului *G*. Înfășurările secundare ale transformatorului *1 T* formează sursa de curent pentru înfășurările primare ale transformatorului *2 T*. Înfășurările secundare ale transformatorului *2 T* alimentează motorul electric *M* etc.



Scanned with OKEN Scanner

## § 4. CUM SE FORMEAZĂ LEGĂTURA ÎN TRIUNGHI

**Legătura în triunghi a generatorului trifazat.** Să unim capătul $x$ al înfășurării $ax$ cu începutul $b$ al înfășurării $by$; capătul $y$ al înfășurării $by$ cu începutul $c$ al înfășurării $cz$; capătul $z$ al înfășurării $cz$ cu începutul $a$ al înfășurării $ax$, așa cum se arată în fig. 18. După aspect o astfel de conexiune ne amintește un triunghi, de unde și provine această denumire a sa. Conductoarele de linie sînt legate la vîrfurile triunghiului.

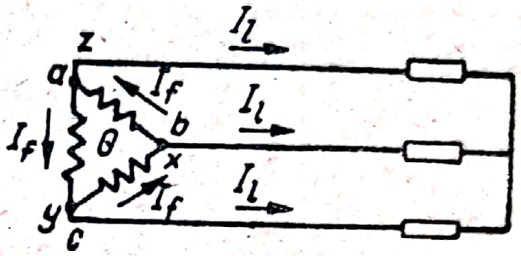


Fig. 18. Legarea în triunghi a generatoarelor

Din fig. 18 rezultă direct că la legătura în triunghi tensiunile de linie și cele de fază sînt egale între ele, pentru că fiecare pereche de conductoare de linie se leagă la începutul și la sfîrșitul uneia din înfășurările de fază, iar acestea sînt toate identice.

Curenții de linie $I_l$ sînt mai mari decît curenții de fază $I_f$ de $\sqrt{3} = 1{,}73$ ori. Vom demonstra aceasta folosindu-ne de diagrama vectorială reprezentată în fig. 19.

Curenții de fază $I_{ab}$, $I_{bc}$, $I_{ca}$ în trei receptoare de curent (fig. 19, $a$) se reprezintă prin diagrama vectorială (fig. 19, $b$), care se obține prin deplasarea paralelă față de ea însăși a vectorilor din fig. 19, $a$. Vîrfurile triunghiului $a$, $b$ și $c$ sînt noduri. De aceea, conform primei legi a lui Kirchhoff, sînt valabile egalitățile:

$$\bar{I}_a + \bar{I}_{ca} = \bar{I}_{ae}, \quad \text{de unde} \quad \bar{I}_a = \bar{I}_{ab} - \bar{I}_{ca};$$

$$\bar{I}_b + \bar{I}_{ab} = I_{bc}, \quad \text{de unde} \quad \bar{I}_b = \bar{I}_{bc} - \bar{I}_{ab};$$

$$\bar{I}_c + \bar{I}_{bc} = \bar{I}_{ca}, \quad \text{de unde} \quad \bar{I}_c = \bar{I}_{ca} - \bar{I}_{bc}.$$

Se înțelege că aceste egalități sînt geometrice (vectoriale) și de aceea scăderea trebuie efectuată după regulile scăderii vectorilor, lucru care s-a și făcut în fig. 19, $b$. Măsurarea directă a lungimilor vectorilor sau calcularea după regulile geometriei arată că curenții de linie $I_a$, $I_b$ și $I_c$ sînt mai mari decît curenți de fază $I_{ab}$, $I_{bc}$ și $I_{ca}$ de $\sqrt{3} = 1{,}73$ ori.



Scanned with OKEN Scanner

Din fig. 19, *b* se vede de asemenea că diagrama vectorială a curenților de linie simetrici ($I_a$, $I_b$ și $I_c$) este decalată cu 30° în sens opus sensului de rotire a vectorilor, din diagrama curenților de fază $I_{ab}$, $I_{bc}$ și $I_{ca}$. Cu alte cuvinte, curentul $I_a$ rămîne în urmă cu 30° față de

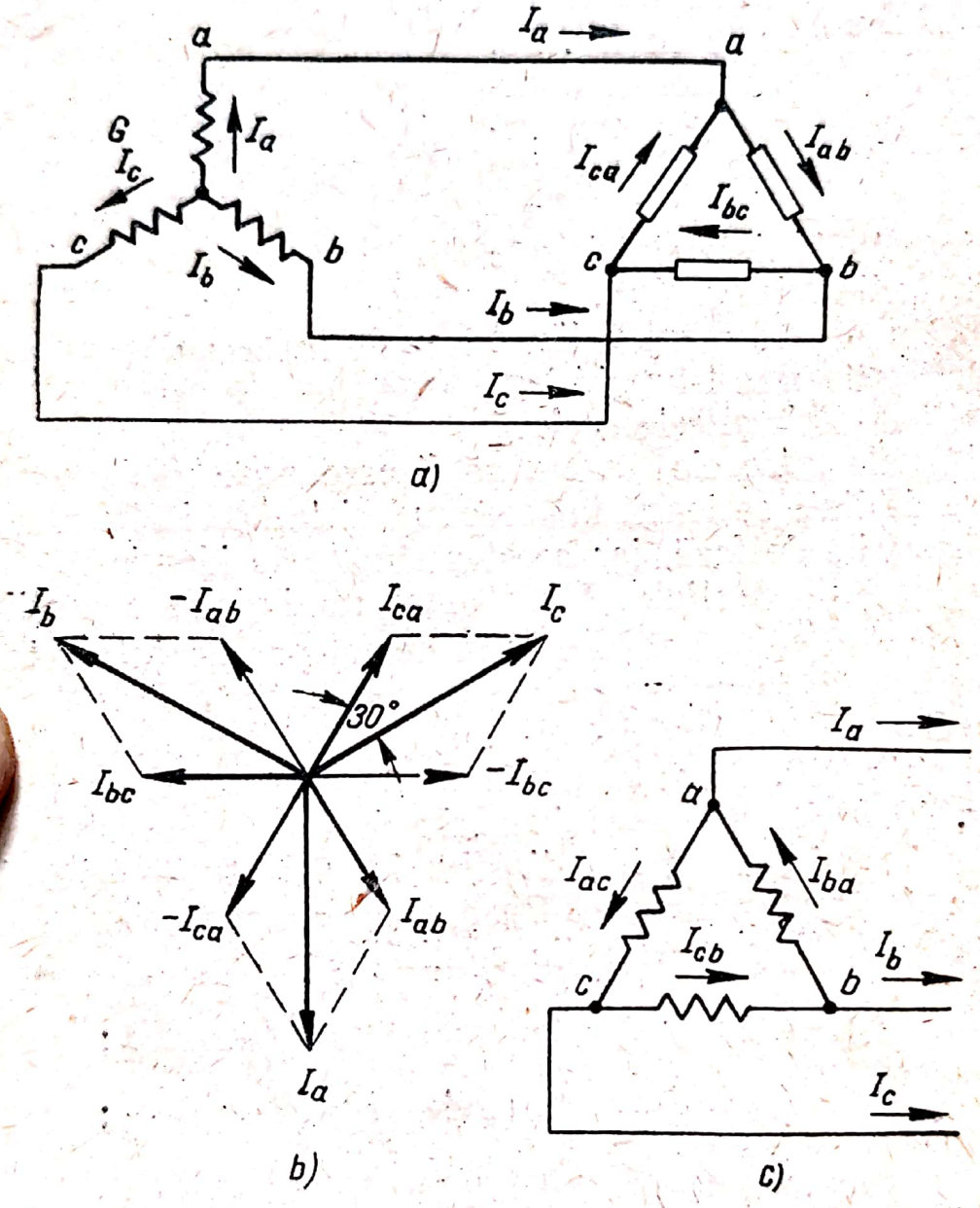



Fig. 19. Determinarea curenților de linie în cazul legăturii în triunghi

curentul $I_{ab}$ etc. Ordinea indicilor la curenții de fază indică ordinea de rotație a fazelor.

În fig. 19, *c* este reprezentată legătura în triunghi a înfășurărilor unui generator sau a înfășurărilor secundare ale unui transformator. Se atrage atenția asupra faptului că cele 3 înfășurări din interiorul generatorului (transfor-



Scanned with OKEN Scanner

matorului) sînt legate în serie și formează un circuit închis. Într-o instalație de curent continuu o legătură asemănătoare ar fi dus la un scurtcircuit. În instalațiile de curent trifazat, datorită faptului că t.e.m. sînt decalate între ele cu 120°, curentul în acest circuit închis este egal cu zero, deoarece în fiecare moment suma t.e.m. a celor 3 înfășurări este egală cu zero.

Tot aci trebuie menționat faptul că pentru a nu exista curent în circuitul înfășurărilor generatorului (transformatorului) este necesar ca înfășurările să aibă același număr de spire, să fie decalate la 120 grade „electrice" și să aibă t.e.m. riguros sinusoidale sau în orice caz care să nu conțină armonice de ordin multiplu lui 3. Acest fapt necesită lămuriri.

Este vorba de faptul că un curent care nu are formă sinusoidală poate fi reprezentat ca o sumă de mulți curenți sinusoidali, la fel cum o forță rezultantă poate fi reprezentată ca o sumă geometrică a componentelor sale.

Ne vom convinge de aceasta printr-un exemplu simplu.

În fig. 20, *a* sînt reprezentate 3 curbe: sinusoidele cu frecvența $f_1$ și cu frecvența triplă 3 $f_1$, așa-zisă armonică de ordinul trei, și curba rezultantă.

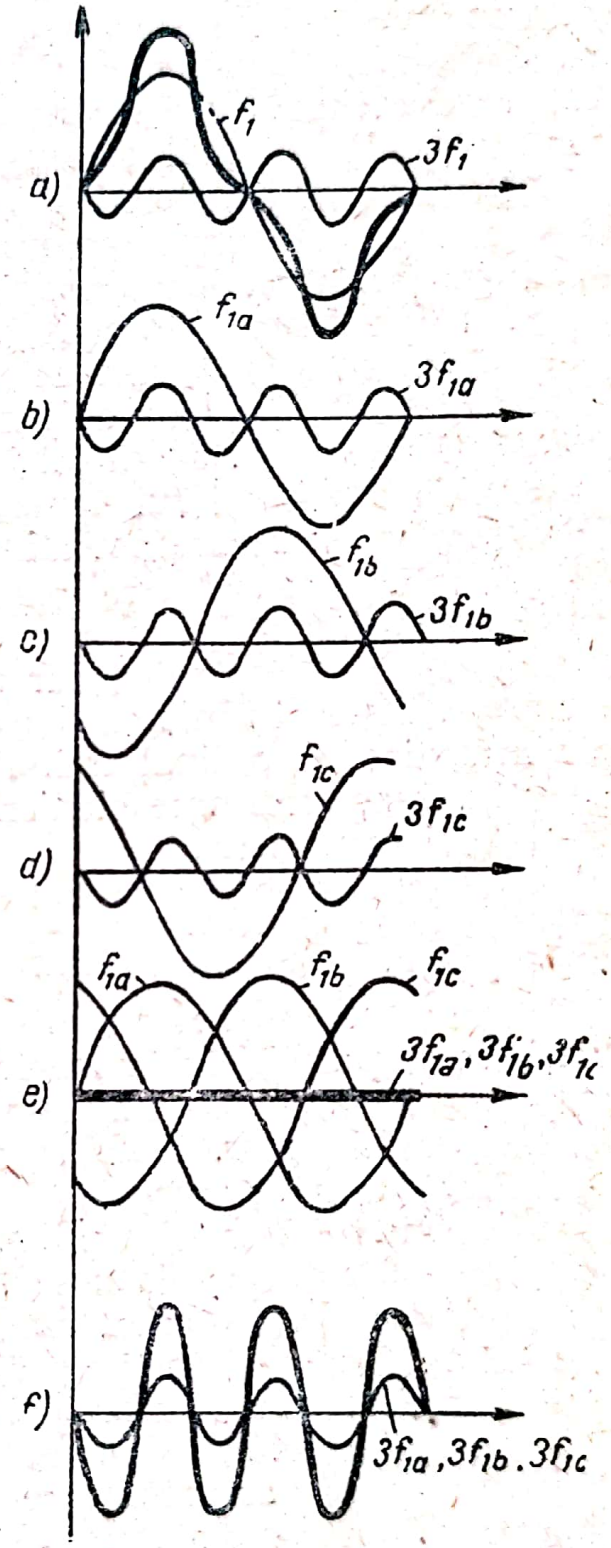



Fig. 20. Însumarea curenților armonicilor de ordinul trei în sistemele trifazate



Scanned with OKEN Scanner

În fig. 20, *b-d* sînt reprezentate sinusoidele cu frecvența fundamentală $f_1$ a celor trei faze *a*, *b*, și *c* și sinusoidele cu frecvența 3 $f_1$ corespunzătoare armonicii de ordinul trei. În fig. 20, *e* este reprezentată suma sinusoidelor de frecvențe $f_a$, $f_{1b}$ $f_{1c}$, sumă care desigur este egală cu zero. Datorită tocmai acestui fapt, după cum s-a mai arătat, în circuitul închis din interiorul generatorului (transformatorului) curentul este egal cu zero.

Suma curenților produși de armonică de ordinul trei ale celor trei faze este reprezentată în fig. 20, *f* cu trăsătură groasă. Deoarece armonicile de ordinul trei (și în general cele de ordinul multiplu lui 3) ale celor trei faze coincid (sînt în fază), ceea ce se vede clar prin compararea figurilor 20, *b-d*, curba rezultantă are o amplitudine triplă. Sub acțiunea t.e.m. a armonicilor de ordinul trei în circuitul închis din interiorul generatorului (transformatorului) vor trece curenți, care pot atinge valori importante.

Practic, generatoarele nu se leagă niciodată în triunghi. Dimpotrivă la transformatoare astfel de legături nu numai că sînt răspîndite, dar uneori se efectuează tocmai pentru a obține în interiorul transformatorului curenți dați de armonica de ordinul trei. Dece? Desigur nu pentru a crea în transformatoare pierderi suplimentare. Cauzele sînt mult mai complicate.

În linii generale ele constau în următoarele: Întotdeauna se urmărește obținerea curenților sinusoidali deoarece aceștia variază continuu (lin) și continuitatea variațiilor în electrotehnică nu este mai puțin importantă decît variația suprasolicitărilor în mecanică, iar în electrotehnică supratensiunile au loc nu la viteze mari, ci la schimbări bruște ale vitezelor. Instalațiile electrice nu pot fi concepute fără transformatoare, iar transformatorul are întotdeauna un circuit magnetic din fier. Fierului îi este proprie saturația datorită căreia între tensiunea aplicată la înfășurarea primară și curentul magnetizării excitat de aceasta nu există o proporționalitate directă. Se poate arăta că în cazul unei tensiuni sinusoidale aplicate la înfășurarea transformatorului se obține un curent a cărui variație urmărește o curbă asemănătoare cu aceea reprezentată în fig. 20, *a*. Dacă curentul magnetizant conține armonica de ordinul trei nici tensiunea înfășurării secundare, care alimentează rețeaua nu poate fi sinusoidală. Aceasta este echivalentă cu pătrunderea în rețea a curenților armonicii de



Scanned with OKEN Scanner

ordinul trei, care vor supraîncălzi receptoarele de curent și vor determina alte fenomene nedorite.

Cum putem să evităm armonica de ordinul trei în tensiunea secundară? Rezultă că înfășurările transformatorului trebuie legate astfel, încît curenții armonicii de ordinul trei, să se închidă în ei, adică înfășurările să se lege în

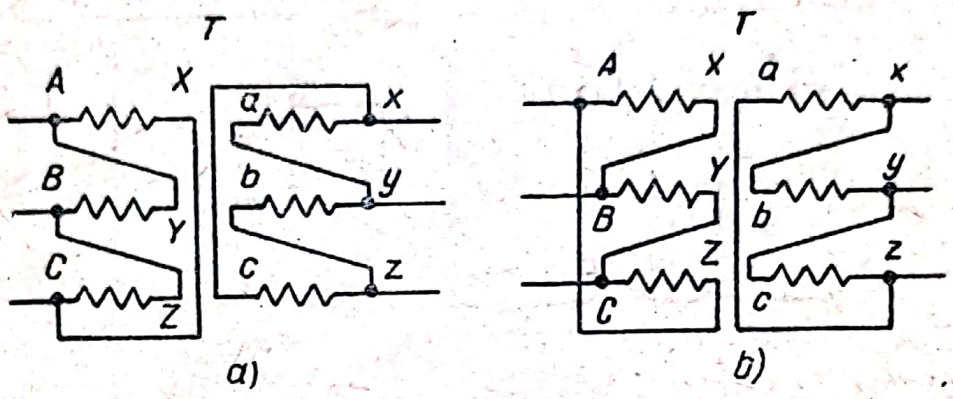



Fig. 21. Legarea transformatoarelor în triunghi

triunghi. Atunci acești curenți vor exercita asupra fluxului magnetic al transformatorului o influență utilă, datorită căreia tensiunea secundară va fi sinusoidală, cum este și necesar.

Legătura în triunghi a înfășurărilor transformatoarelor în două variante este reprezentată în fig. 21. Examinarea amănunțită a legăturii înfășurării transformatoarelor este expusă în § 7.

**Legătura în triunghi a receptoarelor de curent și a bateriilor de condensatoare.** Legătura în triunghhi a înfășurărilor motoarelor electrice este reprezentată în fig. 22, *a-c*. În fig. 22, *a*, înfășurările sînt legate și așezate în triunghi: în fig. 22, *b*, înfășurările sînt legate în triunghi însă așezate arbitrar: în fig. 22, *c*, înfășurările sînt așezate în stea, însă legate în triunghi; în fig. 22, *d*, înfășurările sînt așezate în triunghi, însă legate în stea.

Toate figurile acestea subliniază faptul că nu e importantă așezarea receptoarelor pe desen (cu toate că adesea este mai comod să se așeze în conformitate cu modul de legătură), ci cum se leagă: sfîrșiturile (începuturile) tuturor înfășurărilor între ele sau sfîrșitul unei înfășurări cu începutul celeilalte. În primul caz, se obține legătura în stea, iar în al doilea, în triunghi.

În fig. 22, *e* este reprezentată legătura în triunghi a lămpilor. Cu toate că lămpile sînt montate prin diferite



Scanned with OKEN Scanner

apartamente, ele se unesc în grupele *3* în cadrul fiecărui apartament, apoi în grupe pe coloanele *2* și în sfîrșit aceste grupe se leagă în triunghi la tabloul de intrare *1*. Observații : pînă la tabloul de intrare sarcina este trifazată, după tabloul de intrare (pe coloane și în apartamente) monofazată cu toate că este legată între două faze.

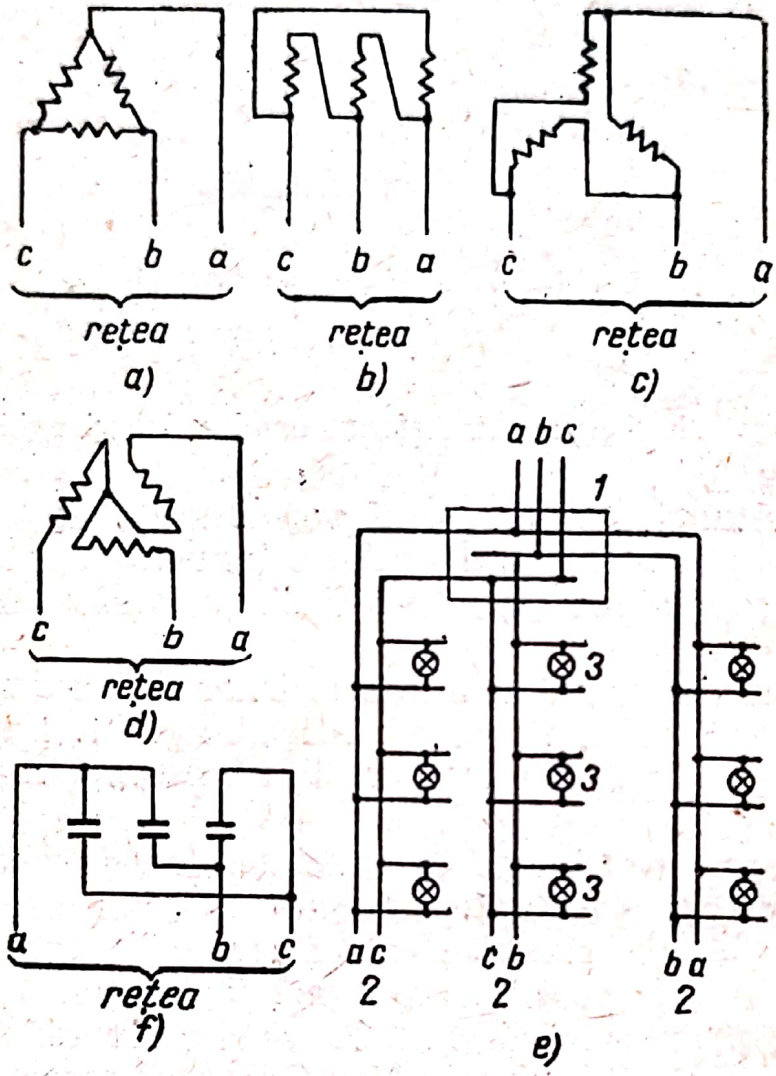



Fig. 22. Legarea receptoarelor în triunghi

De ce sarcina care este alimentată de la două faze poate fi numită monofazată ? Pentru că variațiile curentului în ambele conductoare la care este legată sarcina au loc la fel, adică în fiecare moment curentul trece prin aceeași fază.

În trecere menționăm faptul că în conductoare poate exista concomitent numai un singur curent, cu toate că în calcule adesea se determină separat curenții activi și cei reactivi. Acestea sînt numai mărimi de calcul.



Scanned with OKEN Scanner

Mai departe se știe că în tehnica comunicațiilor și în telemecanică se aplică pe o scară largă suprapunerea circuitelor de frecvență, în care caz lucrurile se petrec ca și cum unele conductoare sînt parcurse simultan de cîțiva curenți. În realitate, însă, în conductoare există numai un singur curent; el este determinat de suma curenților care sosesc în conductoare la partea de transmitere (emisie), curenți cari sînt separați, apoi după frecvențe, de filtre la recepție.

## § 5. PROPRIETĂȚILE LEGĂTURII ÎN STEA ȘI ALE LEGĂTURII ÎN TRIUNGHI

Cazurile tipice de legătură în stea și în triunghi ale generatoarelor, transformatoarelor și receptoarelor de curent au fost examinate mai sus. Ne vom opri acum asupra celor mai importante probleme, aceea a puterii, în cazul legăturilor în stea și în triunghi, deoarece pentru funcționarea fiecărui mecanism, acționat de un motor electric sau care este alimentat de un generator cu transformator, în final este importantă tocmai puterea.

În rețelele de curent alternativ se deosebesc: puterea aparentă $S = UI$ sau $S = EI$, puterea activă $P = UI \cos \varphi$ și puterea reactivă $Q = UI$ sinus $\varphi$[1].

La determinarea puterii generatoarelor, în formulă intră t.e.m., iar la determinarea puterii consumatorilor, tensiunea la borne. La determinarea puterii motoarelor electrice se ia în considerație și randamentul, deoarece pe eticheta motorului electric se indică puterea la arborele acestuia.

**Puterea în cazul legăturii în stea și în triunghi.** Este evident că puterea aparentă a unui sistem trifazat este egală cu suma puterilor aparente ale celor trei faze $S_a$, $S_b$ și $S_c$ și, dacă acestea sînt egale cu $S_f$ atunci $S = 3\ S_f$.

În cazul legăturii în stea, curenții de linie $I$ și curenții de fază $I_f$ sînt egali între ei, iar între tensiunile de fază și cele de linie există relația $U = \sqrt{3}\ U_f$, de unde $U_f = U/\sqrt{3}$.

---

1 Puterea activă se măsoară în wați (W), cea reactivă în volți-amperi reactivi (var), cea aparentă în volți-amperi (VA). Mărimile de 1 000 de ori mai mari se numesc respectiv kW, kvar, kVA.



Scanned with OKEN Scanner

Comparînd aceste formule vedem că puterea în cazul legăturii în stea se exprimă prin mărimile de linie astfel:

$$S = 3 S_f = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I = \sqrt{3}\, UI \approx 1{,}73\, UI.$$

În cazul legăturii în triunghi tensiunile de fază și de linie sînt egale între ele, iar între curenți există relația $I = \sqrt{3}\, I$, de unde $I_f = I/\sqrt{3}$. De aceea, puterea în cazul legăturii în triunghi este:

$$S = 3 S_f = 3 U \frac{1}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}\, UI \approx 1{,}73\, UI.$$

Pînă în prezent a fost examinată puterea aparentă a circuitului trifazat. În practică interesează adesea puterea activă și puterea reactivă a circuitului trifazat. Pentru determinarea acestora se utilizează următoarele formule:

$S = \sqrt{3}\, UI$ — pentru puterea aparentă;
$P = \sqrt{3}\, UI \cos \varphi$ — pentru puterea activă;
$Q = \sqrt{3}\, UI \sin \varphi$ — pentru puterea reactivă.

Aici $U$ și $I$ sînt tensiunea și curentul de linie.

Forma asemănătoare a formulelor puterii pentru legătura în stea și triunghi servește uneori drept cauză a unor neînțelegeri, deoarece îi face pe cei cu puțină experiență să tragă o concluzie greșită, cum că modul de legare ar fi indiferent.

Vom arăta printr-un exemplu cît de eronată este această concluzie. Să admitem că un motor electric a fost legat în triunghi și a funcționat la o rețea de 380 V cu un curent de 10 A avînd puterea aparentă $S = 1{,}73 \times 380 \times \times 10 = 6\,574$ VA.

Apoi motorul electric a fost legat în stea, acum fiecărei înfășurări de fază îi revenea o tensiune de 1,73 ori mai mică, cu toate că tensiunea rețelei a rămas aceeași. Micșorarea tensiunii a dus la scăderea curentului în înfășurări de 1,73 ori. Însă nici aceasta nu reprezintă totul. În cazul conectării în triunghi, curentul de linie a fost de 1,73 ori mai mare decît cel de fază, iar acum curentul de fază și cel de linie sînt egali. Astfel curentul de linie prin legarea în stea s-a micșorat de $1{,}73 \cdot 1{,}73 = 3$ ori.

Cu alte cuvinte, cu toate că noua putere trebuie calculată cu aceeași formulă, în formulă trebuie înlocuite alte valori pentru $V$ și $I \cdot S_1 = 1{,}73 \cdot 380 \cdot 10/3 = 2\,191$ VA.



Scanned with OKEN Scanner

Din acest exemplu rezultă că prin comutarea motorului electric din triunghi în stea și alimentarea acestuia de la aceeași rețea, puterea dezvoltată de motor se micșorează de 3 ori.

Acum este momentul să formulăm unele generalizări practice.

Să examinăm ce se petrece în cazul comutării din stea în triunghi și invers, în cazurile cele mai frecvente. Menționăm că nu este vorba de schimbarea legăturilor interioare, care se efectuează în condiții de fabrică sau în ateliere speciale, ci despre comutarea la tabloul aparatelor, dacă aici sînt aduse începuturile și sfîrșiturile înfășurărilor.

1. Dacă comutăm din stea în triunghi înfășurările generatoarelor și înfășurările secundare ale transformatoarelor, tensiunea în rețea scade de 1,73 ori, de exemplu de la 380 V la 220 V. Puterea generatorului și a transformatorului rămîne aceeași. De ce? Pentru că tensiunea fiecărei înfășurări de fază rămîne aceeași și curentul în fiecare înfășurare de fază este același cu toate că în conductoarele de linie crește de 1,73 ori.

Dacă se comută din triunghi în stea, au loc fenomene inverse, adică tensiunea de linie în rețea crește de 1,73 ori de exemplu, de la 220 V la 380 V, curentul în înfășurările de fază rămîne același, curentul în conductoarele de linie scade de 1,73 ori.

Înseamnă că și generatoarele și înfășurările secundare ale transformatoarelor, dacă au scoase la tablou toate cele 6 capete, sînt utilizabile pentru rețelele cu două tensiuni care diferă de 1,73 ori.

2. Dacă se comută lămpi cu incandescență din stea în triunghi (cu condiția ca ele să fie conectate la aceeași rețea în care lămpile, legate în stea luminează normal), lămpile se vor arde.

Dacă se comută lămpi legate în triunghi, în stea (cu condiția ca lămpile conectate în triunghi să lumineze normal), vor da o lumină roșietică, întunecată.

Înseamnă că lămpile (de exemplu pentru 127 V) în rețeaua de 127 V trebuie să fie legate în triunghi; însă dacă trebuie să fie alimentate de la rețeaua de 220 V, ele trebuie legate în stea, cu conductor de nul (vezi și § 3). Legătura în stea fără conductor de nul, este permisă nu-



Scanned with OKEN Scanner

mai pentru lămpi de aceeași putere, distribuite uniform între faze, cum ar fi de exemplu, la candelabrele teatrelor.

3. Toate cele spuse despre lămpi se referă și la rezistențe, la cuptoare electrice și la alți consumatori asemănători.

4. Condensatoarele din care sînt alcătuite bateriile pentru mărirea factorului de putere cos φ au tensiunea nominală care indică tensiunea rețelei la care condensatorul trebuie conectat [5].

Dacă tensiunea rețelei este, de exemplu, de 380 V, iar tensiunea nominală a condensatoarelor este de 220 V, acestea trebuie legate în stea. Dacă tensiunea rețelei și tensiunea nominală a condensatoarelor sînt identice, condensatoarele se leagă în triunghi.

5. După cum s-a explicat mai sus, în cazul comutării unui motor electric din triunghi în stea, puterea sa scade aproximativ de 3 ori. Invers, dacă motorul electric se comută din stea în triunghi, puterea crește brusc, însă motorul electric (dacă nu este destinat să funcționeze la tensiunea dată și legat în triunghi) se va avaria.

Amintim schema răspîndită de pornire a motoarelor electrice cu comutarea din stea în triunghi. Esența problemei constă în următoarele: la conectarea motorului electric din repaus, curentul de pornire este de cîteva ori mai mare ca cel nominal. Din această cauză pot arde siguranțele, iar în rețea apar scăderi de tensiune ceea ce influențează nefavorabil, de exemplu, asupra funcționării lămpilor cu incandescență. Micșorarea curenților de pornire se poate face pe două căi: sau se introduce un reostat a cărui rezistență se micșorează pe măsură ce viteza motorului crește, sau se realizează pornirea cu o tensiune micșorată, care apoi se mărește pînă la valoarea nominală. Acest lucru se realizează prin comutarea din stea în triunghi în perioada de pornire. În adevăr, înainte de pornire și în prima perioadă a pornirii, înfășurările motorului electric sînt legate în stea. De aceea la fiecare din ele se aplică o tensiune mai mică decît cea nominală de 1,73 ori și prin urmare curentul va fi mult mai mic decît în cazul legăturii înfășurărilor la tensiunea locală a rețelei. În procesul de pornire a motorului electric viteza de rotație crește și curentul scade. Atunci se efectuează comutarea în triunghi.

Se știe că motoarele electrice subsolicitate funcționează cu un factor de putere foarte mic. De aceea se recomandă



Scanned with OKEN Scanner

ca motoarele electrice subsolicitate să fie înlocuite cu altele de putere mai mică. Însă dacă nu se poate efectua înlocuirea și rezerva de putere este mare, nu este exclusă ridicarea factorului de putere cos φ prin comutarea motorului electric din triunghi în stea, fără riscul de a supraîncălzi motorul electric.

**Punerea la pămînt a conductorului neutru.** În regulile de montare a instalațiilor electrice se arată că rețelele electrice urbane cu tensiunea mai mare de 1 000 V trebuie să fie trifazate cu neutrul izolat, air rețelele de distribuție în orașele noi, trifazate cu patru conductoare, cu tensiunea de 380/220 V, cu conductorul neutru pus la pămînt.

Sînt de asemenea foarte răspîndite rețelele cu tensiunea 220/380 V, al căror conductor neutru este izolat. Cînd conductorul neutru este izolat se utilizează siguranțe.

Vom clarifica pe scurt, următoarele probleme:

a. De ce, în rețelele pînă la 1 000 V, se pune la pămînt conductorul neutru?

b. Din ce cauze se favorizează uneori izolarea conductorului neutru?

c. La ce servesc siguranțele de străpungere?

În fig. 23, *a* sînt reprezentate înfășurările secundare ale transformatorului *T* care alimentează rețeaua cu conductoare cu tensiunea de 380/220 V, al cărui conductor neutru este izolat. Considerăm că în momentul dat, izolația este în stare perfectă. Cu toate acestea în figură sînt reprezentate trei rezistențe *r*, legate în stea. Punctul neutru al acestei stele este pămîntul. Aceste rezistențe reprezintă, convențional imperfecțiunea izolației conductoarelor care într-o oarecare măsură conduc totuși curentul. În aceeași figură sînt reprezentate 3 condensatoare *C* legate în stea. Punctul neutru al acestei stele este de asemenea pămîntul. Condensatoarele reprezintă în mod convențional capacitatea electrică a conductoarelor față de pămînt, ceea ce este foarte important în instalațiile electrice de curent alternativ, deoarece condensatoarele conduc curentul alternativ.

Ce tensiuni se întîlnesc în instalația electrică examinată?

Între faze avem 380 V; între fiecare conductor de linie și neutrul transformatorului avem 220 V; între fiecare conductor de linie și pămînt avem 220 V. De ce? Pentru că pămîntul reprezintă punctul neutru al stelelor formate din



Scanned with OKEN Scanner

cele 3 rezistențe egale $r$ și cei 3 condensatori de capacități egale $C$. Dacă însă conductorul de linie are aceeași tensiune față de neutrul transformatorului, ca și față de pământ, este clar că între neutrul transformatorului și pământ tensiunea este egală cu zero.

Dacă un om care stă pe pământ se atinge de unul din conductoarele de linie este supus pericolului, deoarece prin

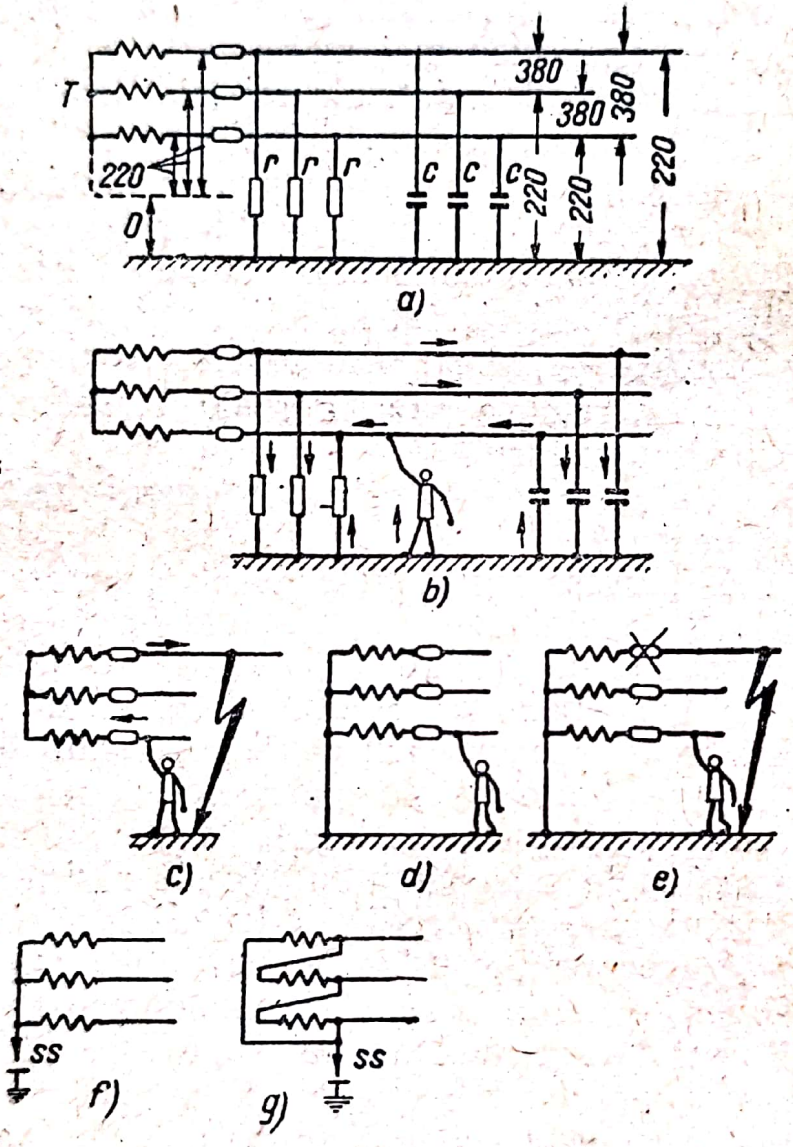



Fig. 23. Potențialul punctului neutru. Punerea netă la pământ în sistemele trifazate

izolația imperfectă, capacitățile conductoarelor și corpul omului trece un curent. Pentru un anumit moment sensul său este reprezentat în fig. 23, *b*. Mărimea curentului și, prin urmare și pericolul sînt determinate de valorile rezistențelor capacităților și tensiunii de fază. Cu alte cuvinte, în acest caz omul se găsește sub tensiunea de 220 V.



Scanned with OKEN Scanner

Însă ce se va întîmpla dacă unul din conductoarele de linie se pune la pămînt, iar omul care se află pe pămînt se atinge de alt conductor de linie? Din fig. 23, *c* se vede că omul se va afla acum nu sub tensiunea de fază, ci sub tensiunea de linie de 380 V, ceea ce este cu mult mai periculos. În rețelele cu neutrul pus la pămînt, omul care stă pe pămînt și se atinge de conductorul de linie va fi supus la o tensiune de fază (fig. 23, *d*). Dacă între timp se pune la pămînt alt conductor de linie (fig. 23, *e*), siguranța se va arde, însă creșterea tensiunii de la cea de fază la cea de linie (cum are loc în rețelele cu neutrul izolat) nu va avea loc.

Aceasta înseamnă că atît în rețeaua de 380/220 V cu neutrul pus la pămînt, cît și în rețeaua de 220/127 V cu neutrul izolat, omul care se atinge de un conductor neizolat poate fi supus la o tensiune de 220 V. Însă rețelele de 380/220 V sînt mai convenabile decît rețelele de 220/127 V, deoarece pentru transmiterea aceleiași puteri la 380/220 V sînt necesare conductoare cu secțiunea mai mică.

În afara condițiilor de securitate există și o altă problemă importantă și anume continuitatea alimentării electrice a consumatorilor, pentru rezolvarea căreia nu este indiferent faptul dacă neutrul este pus la pămînt sau este izolat. Lucrurile stau astfel:

În rețeaua cu neutrul izolat, cînd se pune la pămînt un conductor de linie, siguranțele nu se ard, deoarece nu există un scurtcircuit. Între conductoarele de linie, și între conductoarele de linie și neutrul transformatorului se păstrează tensiunile normale și consumatorii de energie electrică își pot continua lucrul un timp oarecare.

În rețeaua cu neutrul pus la pămînt, defectarea izolației conductorului de linie duce la scurtcircuit, siguranțele se ard și alimentarea consumatorilor cu energie electrică se întrerupe. Înseamnă că continuitatea alimentării electrice este mai mare în rețelele cu neutrul izolat.

Este necesar să se sublinieze în mod deosebit următoarele condiții foarte importante:

a. Pentru asigurarea securității, legarea la pămînt trebuie efectuată respectînd riguros o serie de cerințe. Acestei probleme speciale îi este atribuită o atenție deosebită în prescripțiile pentru construcția instalațiilor electrice și îi sînt consacrate multe cărți, printre care și broșura lui



Scanned with OKEN Scanner

M. P. Naifeld „Cum se execută legarea la pămînt în instalațiile electrice", apărută în Editura Tehnică, 1960.

b. Cu toate că în rețelele cu neutrul izolat este posibilă funcționarea consumatorului chiar în cazul defectării izolației unuia dintre conductoarele de linie, un astfel de regim este periculos pentru izolația celorlalte faze și a utilajului conectat la acestea. Aceasta se explică prin aceea că în acest regim, tensiunea celorlalte două faze față de pămînt este de 1,73 × tensiunea normală.

Există și alte cauze datorită cărora tensiunea în rețele poate crește mult. În primul rînd, defectarea izolației dintre înfășurările de înaltă și de joasă tensiune ale transformatoarelor. Pentru a evita o străpungere în masă a izolației în rețelele de joasă tensiune și pentru a pune în siguranță oamenii, în rețelele cu neutrul izolat se utilizează siguranțe de străpungere. O siguranță de străpungere (*SS*) se montează între neutrul transformatorului și pămînt, în cazul conexiunii în stea (fig. 23, *f*), sau între unul dintre conductoare și pămînt în cazul conexiunii în triunghi (fig. 23, *g*).

In siguranța de străpungere o piesă conducătoare de curent se leagă la neutrul (fază) transformatorului, iar alta se pune la pămînt și între ele este așezată o garnitură de mică, perforată. În cazul tensiunii normale garnitura izolează sigur neutrul de pămînt; însă la trecerea tensiunii înalte pe înfășurarea de joasă tensiune, siguranța respectivă se străpunge și pune înfășurările la pămînt.

In cazul punerii directe la pămînt a neutrului, siguranța de străpungere nu este necesară.

## § 6. CUM SE DETERMINĂ BORNELE APARATELOR

Inainte de a efectua legătura în stea și în triunghi, întotdeauna trebuie rezolvate două probleme: 1) să se determine care borne aparțin unei sau altei înfășurări și 2) să se determine care din ele este începutul înfășurării, și care este sfîrșitul acesteia.

**Determinarea apartenenței bornelor.** În fig. 24, *a* sînt reprezentate convențional înfășurările unui motor electric trifazat ale căror capete sînt scoase la bornele tabloului 1.



Scanned with OKEN Scanner

Se poate întîmpla ca pe tablou să nu existe inscripțiile *1I*, *2I*, *3I* (început) și *1S*, *2S* și *3S* (sfîrșit), însă, chiar în cazul existenței inscripțiilor este util să se verifice dacă ele sînt corecte.

Pentru aceasta mai întîi se verifică izolația fiecărui conducător față de pămînt, folosind megohmmetrul *2*. Un

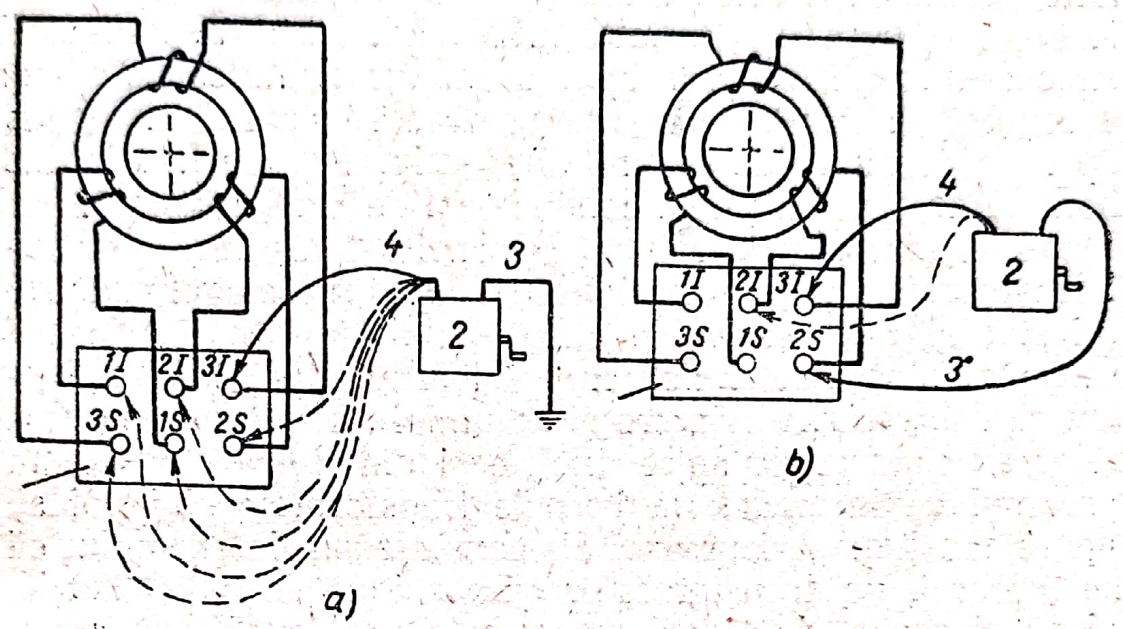



Fig. 24. Determinarea bornelor înfășurărilor motoarelor electrice

conductor (*3*) al megohmmetrului se pune la pămînt (se leagă la carcasa motorului electric), altul (*4*) se leagă succesiv la fiecare din cele 6 borne ale tabloului și învîrtind maneta megohmmetrului ne convingem de calitatea izolației.

Apoi conductorul *3* se leagă la una din bornele de pe tablou, de exemplu la *2 S* (fig. 24, *b*) și învîrtind maneta megohmmetrului, atingem succesiv celelalte 5 borne cu conductorul 4. În exemplul nostru la bornele *1I*, *3I*, *1 S* și *3 S* megohmmetrul va indica „izolație" și numai la una singură, anume *2 I*, va indica „scurtcircuit". De aici rezultă că bornele *2 S* și *2 I* aparțin aceleiași înfășurări. Astfel se verifică fiecare bornă față de toate celelalte și ca rezultat se obțin cele 3 perechi de borne ale înfășurărilor respective.

Dacă rezistența înfășurărilor este mică, se poate efectua o verificare analogă cu ajutorul unui bec electric de scală de radio și a unei baterii, al unui tester, a unei sonerii, a unei lămpi cu incandescență și a rețelei etc. În acest caz trebuie să avem în vedere următoarele:

a. Înfășurările mașinilor electrice au o mare inductanță: de aceea la încercarea lor, chiar cu o baterie, la deconectare poate să apară un impuls de tensiune de cîțiva zeci de volți;

b. Înfășurările au un circuit magnetic de fier comun, adică reprezintă un transformator. Înseamnă că în timpul funcționării cu o înfășurare, nu este exclusă apariția unor tensiuni la bornele celorlalte înfășurări. În cazul încercării cu curent continuu, vor apărea impulsuri la conectare și deconectare: dacă încercarea se face în curent alternativ apare o tensiune de curent alternativ. Pe scurt, atingînd bornele, trebuie să ținem conductorul de partea izolată.

Determinarea apartenenței bornelor înfășurărilor transformatoarelor trebuie efectuată cu ajutorul megohmmetrului sau al altei surse de curent continuu. În acest scop este periculos a se utiliza curentul alternativ. De ce? Pentru că înfășurările primare și secundare ale transformatoarelor au numere de spire diferite și din această cauză, în procesul de încercare, la bornele transformatorului pot să apară tensiuni periculoase. Să considerăm, de exemplu, că se încearcă un transformator cu tensiune de 6 600/220 V, al cărui raport de transformare este egal cu 30. Presupunem că la înfășurarea secundară se aplică (printr-o lampă) 40 V. La bornele înfășurării primare va apărea în acest caz o tensiune de $40 \cdot 30 = 1\,200$ V.

**Determinarea începuturilor și sfîrșiturilor înfășurărilor.** Înfășurările pot fi bobinate în două sensuri: sau în sensul acelor unui ceasornic sau invers. Cum sînt ele bobinate în realitate nu se vede; însă cu ajutorul unei experiențe simple se poate determina ușor care borne sînt începuturi de înfășurări și care sfîrșituri.

Să presupunem că înfășurările sînt bobinate într-un sens oarecare (fig. 25, *a*). Fluxul magnetic alternativ $\Phi$ induce t.e.m. $E_1$ și $E_2$ în fiecare din ele, proporționale cu numerele de spire respective. Deoarece sensul bobinării este același, nu este greu să ne imaginăm că o înfășurare poate fi considerată drept continuarea celeilalte și că în fiecare moment sensurile t.e.m., în ele, coincid. Aceasta înseamnă că bornele lor superioare $A$ și $a$ sau cele inferioare $X$ și $x$ sînt polarizate la fel, pozitiv sau negativ, ceea ce este însemnat în fig. 25, *a* cu semnul + și —.

Este clar că dacă bobinarea este făcută în sensuri diferite (fig. 25, *b*), sensurile t.e.m. $E_1$ și $E_2$ sînt opuse, adică tensiunile sînt decalate cu 180°.



Scanned with OKEN Scanner

De aici rezultă o concluzie practică. Pentru a determina sensul de bobinare a două înfășurări acestea se leagă între ele, așa cum se arată în fig. 25, *c*, iar la capetele libere se aplică o tensiune alternativă. Pentru a evita un curent prea mare, în schemă se introduce o rezistență adi-

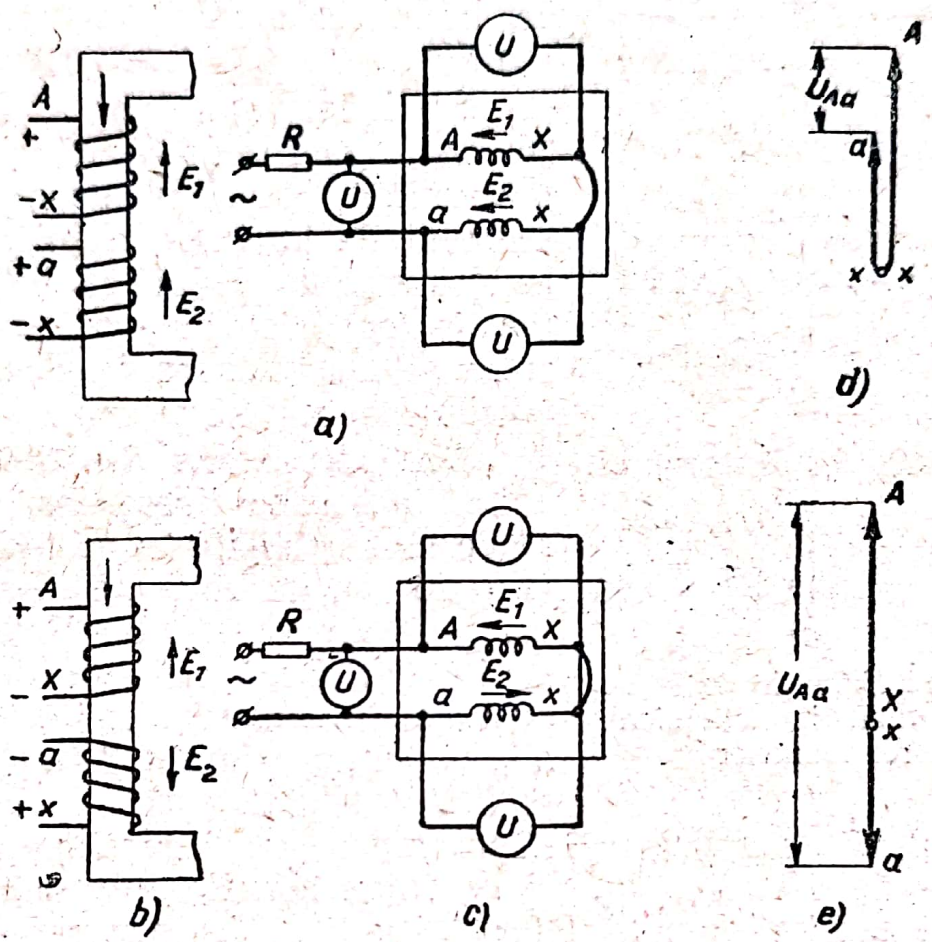



Fig. 25. Determinarea sensului de bobinare a două înfășurări așezate pe același miez

țională $R$. Se măsoară tensiunea totală $U_{Aa}$ dintre bornele $A$ și $a$, tensiunea $U_{AX}$ la o înfășurare și tensiunea la cealaltă înfășurare $U_{ax}$ și se compară între ele.

Dacă $U_{Aa}$ este egală cu diferența dintre $U_{AX}$ și $U_{ax}$, înfășurările sînt bobinate în același sens și t.e.m. ale acestora sînt reprezentate în diagrama vectorială din fig. 25, *d*, de exemplu $U_{Aa} = 40$ V : $U_{AX} = 100$ V ; $U_{ax} = 60$ V.

Dacă $U_{Aa}$ este egală cu suma dintre $U_{AX}$ și $U_{ax}$ înfășurările sînt bobinate în sensuri diferite, de exemplu $U_{AX} = 100$ V : $U_{ax} = 60$ V ; $U_{Aa} = 160$ V. Diagrama vectorială e desenată în fig. 25, *e*.

Atragem atenția asupra necesității de a aplica tensiunea la bornele libere ale ambelor înfășurări ($A$ și $a$ dacă



Scanned with OKEN Scanner

$X$ și $x$ sînt legate : $X$ și $x$ dacă $A$ și $a$ sînt legate : $A$ și $X$, $x$ și $a$ sînt legate ; $a$ și $x$ dacă $A$ și $X$ sînt legate etc.) și asupra interzicerii de a aplica tensiune numai la o singură înfășurare [1]. De ce ? Pentru că aplicînd tensiunea la o înfășurare riscăm să obținem la celelalte înfășurări o tensiune înaltă.

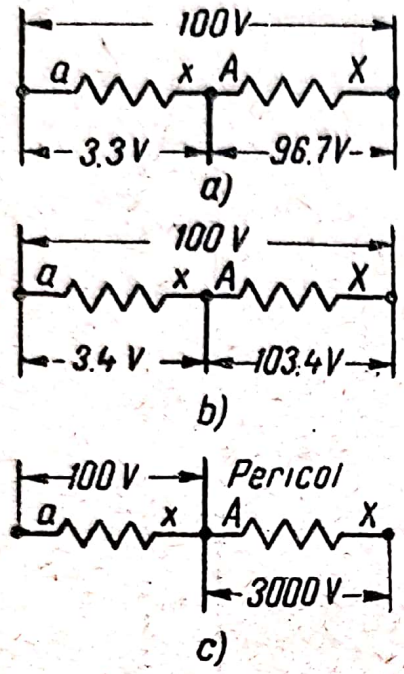



Fig. 26. Măsurile de securitate luate la determinarea bornelor

Să luăm un exemplu. În fig. 26 este reprezentată distribuirea tensiunilor în cazul determinării sensului de bobinare a înfășurărilor transformatorului, cu înfășurarea de joasă tensiune avînd 50 de spire și cu înfășurarea de înaltă tensiune avînd 1 500 spire.

Dacă tensiunea de 100 V se aplică la bornele libere, iar înfășurările sînt bobinate în același sens (fig. 26, *a*), la încercare tensiunile vor fi de aproximativ 3,3 V ; 96,7 V și 100 V. Dacă înfășurările sînt bobinate în sensuri diferite tensiunile vor fi aproximativ 3,4 : 103,4 V și 100 V (fig. 26, *b*).

Dacă se aplică la înfășurarea de joasă tensiune o tensiune de 100 V (fig. 26, *c*) între bornele înfășurării de înaltă tensiune rezultă 3 000 V, ceea ce desigur, reprezintă o tensiune periculoasă.

În fig. 27 este reprezentată schema pentru determinarea sensului de bobinare a înfășurărilor cu ajutorul curentului continuu. La înfășurarea care are un număr mai mare de spire (din motive de securitate) se aplică o tensiune de 2—12 V de la o baterie. Cînd se închide întrerupătorul *I* se urmăresc deviațiile acelor galvanometrelor *1 G* și *2 G*. Dacă acele lor indicatoare se rotesc în același sens, sensul de bobinare al înfășurărilor este același. Deviațiile acelor în sensuri diferite arată că sensurile de bobinare sînt și ele diferite.

Utilizarea curentului continuu este comodă pentru determinarea începuturilor și sfîrșiturilor înfășurărilor mo-

[1] În cazul încercărilor speciale efectuate de personalul laboratorului electric, aceste îngrădiri, desigur, nu se iau în considerație.



Scanned with OKEN Scanner

toarelor electrice. În acest scop, în prealabil, se determină apartenența bornelor.

Apoi bornele unei înfășurări se înseamnă convențional cu *1 I* și *1 S* și la acestea se leagă, printr-un întrerupător, o sursă de tensiune continuă, cu t.e.m. de 2 V, așa cum se

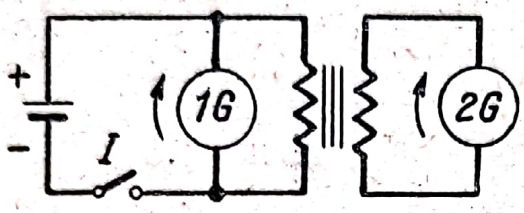



Fig. 27. Determinarea sensului înfășurărilor cu ajutorul unei surse de curent continuu

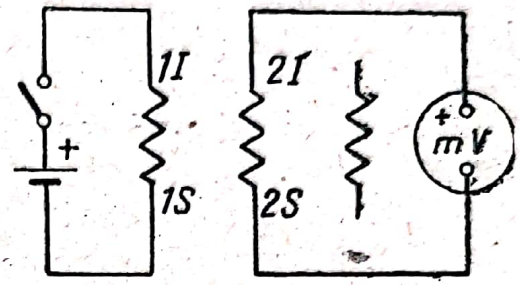



Fig. 28. Determinarea sensului înfășurărilor unui motor electric trifazat

arată în fig. 28. În bornele celeilalte înfășurări se leagă un milivoltmetru.

Dacă la începutul convențional *I I* se leagă borna „plus" a sursei de curent și acul indicator al milivoltmetrului deviază spre dreapta cînd întrerupătorul se deschide, borna înfășurării la care este legată borna „plus" a milivoltmetrului este de asemenea începutul și trebuie să fie însemnată cu *2 I*.

## § 7. GRUPELE DE CONEXIUNI (LEGĂTURĂ) A TRANSFORMATOARELOR

Majoritatea transformatoarelor alimentează consumatorii în grupe paralele. Pentru legarea transformatoarelor în vederea funcționării în paralel, acestea trebuie să aibă:

*Rapoartele de transformare identice.* În caz contrar, între înfășurările lor secundare va circula un curent de egalizare care, chiar în cazul unei diferențe mici a raporturilor de transformare, poate duce la o supraîncălzire periculoasă.

*Tensiuni de scurtcircuit* $u_s$, în %, *identice.* În caz contrar acestea nu vor putea împărți sarcina proporțional cu puterile lor. Cu alte cuvinte, unele transformatoare vor fi subîncărcate, iar altele supraîncărcate.

*Grupe de conexiune identice.* Dacă grupele de conexiune sînt diferite, între vectorii corespunzători ai tensiu-



Scanned with OKEN Scanner

nilor secundare ale transformatoarelor legate în paralel apare un decalaj de fază (defazaj). Aceasta va atrage după sine o diferență între tensiuni. Deoarece în același punct nu pot exista concomitent tensiuni diferite, pentru egalare, între transformatoare, apare un curent de egalizare. După cum se explică mai jos, în cazul celui mai mic dintre decalajele posibile (cînd grupele de conexiune sînt diferite), cînd decalajul este de 30°, curentul de egalizare este aproximativ de 5 ori mai mare decît curentul nominal al transformatorului. În cazul celui mai mare decalaj, de 180°, curentul de egalizare ajunge de 20 ori mai mare.

Ce sînt grupele de conexiune?

În fig. 29 sînt reprezentate 10 transformatoare ale căror înfășurări sînt legate în moduri diferite, acestea neepuizînd toate posibilitățile de legătură. Lăsînd de o parte deocamdată deosebirile dintre ele, ne vom ocupa de diagramele vectoriale alăturate schemelor și care sînt așezate în următoarea ordine: la stînga: diagrama vectorială a tensiunilor înfășurărilor primare, la mijloc: diagrama vectorială a tensiunilor înfășurării secundare, la dreapta: diagramele vectoriale ale tensiunii ambelor înfășurări suprapuse (pe cadran). „Centrul de greutate" al acestora se află în centrul cadranului ceasornicului. Minutarul ceasornicului coincide cu sensul unuia din vectorii tensiunilor înfășurărilor primare (în fig. 29 cu vectorul *B*). Orarul coincide cu vectorul tensiunii înfășurării secundare, a fazei cu același nume, adică cu vectorul *b*. În schemele unde se utilizează legătura în triunghi, în diagrama sa vectorială se înscrie steaua respectivă, iar minutarul se așază de-a lungul acelui vector din stea, care are vîrful în *B* sau *b*.

După fig. 29 ne putem convinge ușor de faptul că unele scheme, indiferent de deosebirile de legătură, dau același decalaj al vectorilor tensiunilor cu același nume, ceea ce se vede clar după „ceasornicele" respective, deoarece acestea arată aceeași oră. Schemele care dau același decalaj formează o grupă de conexiune.

Pe scurt, tensiunile secundare ale frezelor cu același nume ale tuturor transformatoarelor, care au aceeași grupă de conexiune, coincid ca fază. De aceea, ele pot fi legate în paralel fără a risca apariția curentului de egalizare.

Pot exista 12 grupe principale (corespunzătoare orei 1, orei 2..., orei 12), după numărul cifrelor de pe cadran. Aceasta se explică prin faptul că vectorii tensiunilor pri-



Scanned with OKEN Scanner

mare și secundare, în funcție de schema de conexiune a înfășurărilor și de așezarea acestora pe miezuri, pot fi decalate cu un unghi, multiplu de 30°. Astfel, grupei 1 îi corespunde un decalaj de 30°, grupei de 2,60°, 3,90°, 4, 120° etc. Decalajul de 360° (sau ceea ce este echivalent cu absența decalajului deoarece 360° și 0° reprezintă același lucru) îl are grupa 12. La decalajul de 6 ore, vectorii tensiunilor razelor cu același nume ale înfășurărilor primare și secundare sînt îndreptate în sensuri opuse.

Schemele de conexiune ale transformatoarelor se înseamnă printr-o fracție după care se pune o cifră. Numărătorul fracției indică schema de conexiune a înfășurărilor de înaltă tensiune (*IT*) numitorul indică numărul schemei de conexiune a înfășurărilor de joasă tensiune (*JT*). Litera *Y* sau semnul **Y** reprezintă legătura în stea. Dacă există priză la punctul neutru aceasta se înseamnă prin litera $Y_0$ și $\mathbf{Y}_0$. Litera *D* sau Δ reprezintă legătura în triunghi. Cifrele reprezintă grupa legăturilor însemnată după ceasornic. În fig. 29 lîngă fiecare schemă este scrisă însemnarea corespunzătoare.

În conformitate cu GOST 401-41, transformatoarele trifazate cu 2înfășurări se fabrică cu schemele: $Y/Y_0$-12; $Y/D$-11; $Y_0/D$-11, însă în practică putem întîlni toate cele 12 grupe și chiar altfel de legături cînd sensurile de rotație ale vectorilor *IT* și *JT* nu coincid: aceste transformatoare nu au grupe însemnate cu ore.

Este important să menționăm că se poate determina în mod greșit grupa necesară din mai multe cauze, de exemplu datorită unei simple însemnări greșite a fazelor, a încrucișării fazelor etc. De aceea, întotdeauna este necesară verificarea grupei de conexiune și aceasta este o operație complicată și de răspundere. Problema consistă în aceea că la transformatoare, de regulă, există 6 (7) borne pe capac și nu 12, deoarece înfășurările sînt legate între ele în interiorul transformatorului.

În aceste condiții grele, verificarea grupei de legătură se efectuează printr-o serie de măsurători succesive după un anumit sistem care este suficient de complet descris în [1, 2]. Examinarea acestei probleme depășește cadrul problemelor expuse în broșura de față.

Ne vom opri aici numai asupra a două probleme care reprezintă interes pentru cercuri largi de cititori și anume: 1) ce posibilități în schimbarea grupei de conexiune există,



Scanned with OKEN Scanner

fără a deschide transformatorul și 2) cum influențează modul de legare al înfășurărilor și așezarea lor pe miezuri asupra grupei de conexiune.

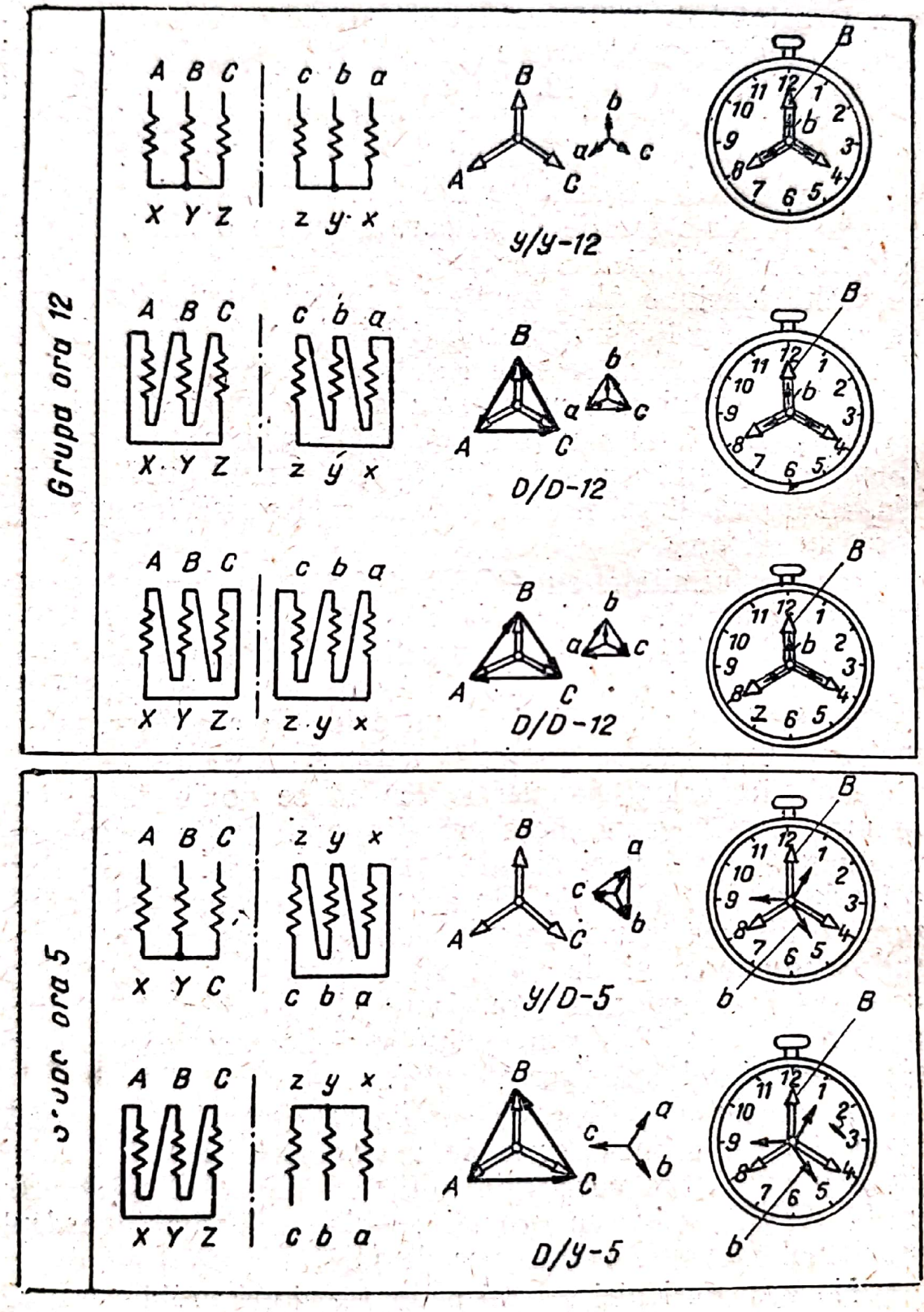
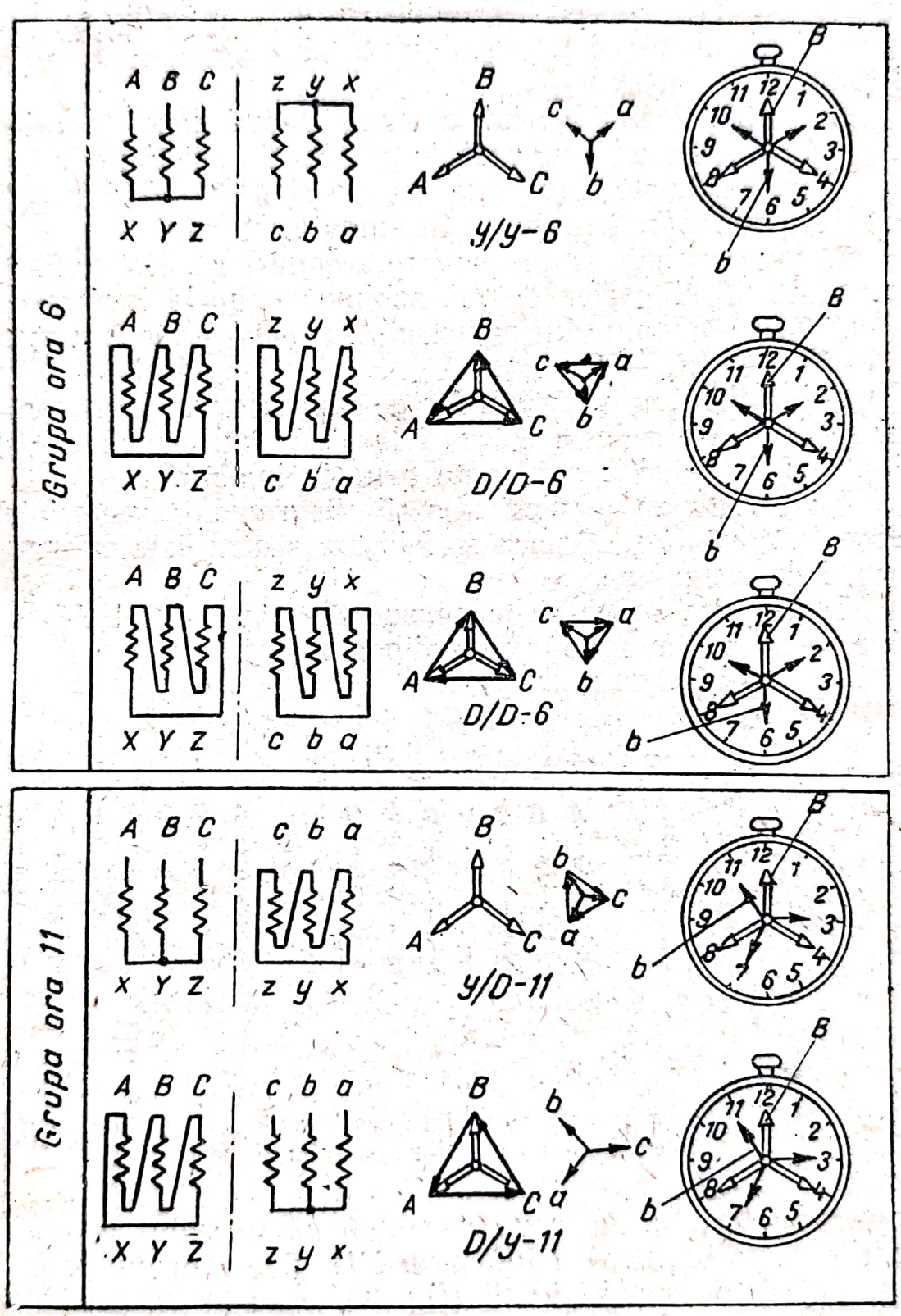



Fig. 29 Exemple de formare a grupelor



Scanned with OKEN Scanner

Grupele pare (2, 4, 6, 8, 10, 12) se obțin dacă ambele înfășurări *IT* și *JT* cu aceeași schemă de conexiune deci dacă ambele sînt legate în stea sau ambele în triunghi.




de conexiune a transformatoarelor



Scanned with OKEN Scanner

Grupele impare (1, 3, 5, 7, 9, 11) se obțin dacă una din înfășurări se leagă în stea și cealaltă în triunghi.

Schimbarea ciclică a marcajului tuturor fazelor, adică în loc de *A*, *B*, *C* (*a*, *b*, *c*) ... *B*, *C*, *A* (*b*, *c*, *a*) ... *C*, *A*, *B* (*c*, *a*, *b*), în orice sens, schimbă grupa cu $\mp 4$ ore (de exemplu din grupa 6 pot fi obținute grupele $6 + 4 = 10$ și $6 - 4 = 2$).

Schimbarea marcajului a numai două faze în orice sens, lipsește transformatorul de grupă. Un astfel de transformator nu poate funcționa în paralel cu nici un alt transformator care are grupa însemnată cu ore.

A doua schimbare de marcare a două faze, efectuată în partea de *IT* și partea de *JT*, schimbă grupele impare cu 2 ore (de exemplu din grupa 5 se pot obține grupele $5 + 2 = 7$ și $5 - 2 = 3$).

Prin schimbarea legăturilor pe capacul transformatorului se poate trece de la o grupă la alta: sau grupele 12, 4 și 8 sau 6, 10 și 2 sau toate grupele impare.

Să clarificăm tehnica trasării diagramelor vectoriale, reprezentate în fig. 29, care se folosesc pentru determinarea grupei de conexiune.

În scheme înfășurările se succed într-o astfel de ordine, încît să fie reprodusă ordinea legării lor la bornele

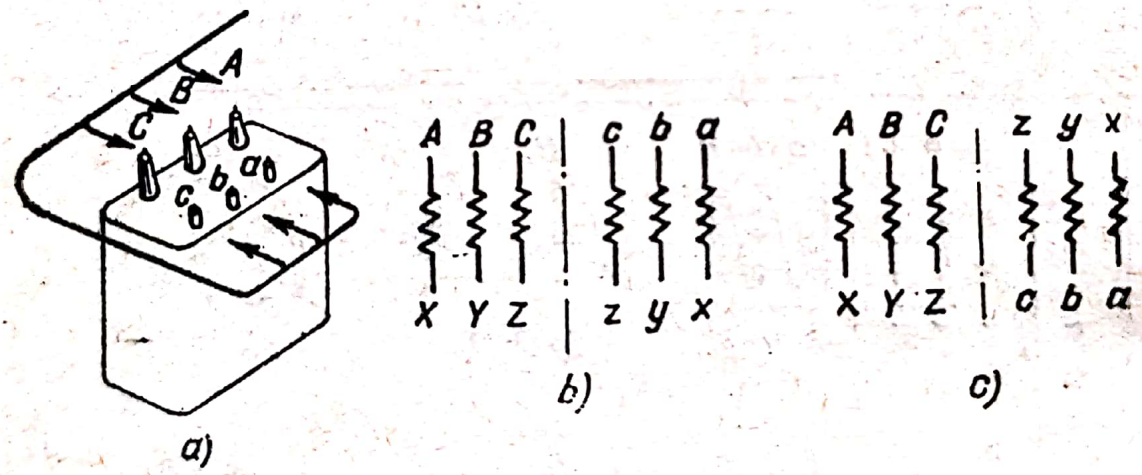



Fig. 30. Sistemul de însemnare a înfășurărilor și a vectorilor, pentru determinarea grupelor de conexiune

transformatorului. Aceasta înseamnă că începînd numărătoarea de la borna *A* a înfășurării *IT* și parcurgînd transformatorul în sensul săgeții (fig. 30, *a*), vom întîlni bornele sale în următoarea ordine: *A*, *B*, *C*, *c*, *b*, *a*. Tocmai în acest mod ele sînt așezate și pe schemă.



Scanned with OKEN Scanner

Începuturile înfășurărilor *IT* sînt însemnate cu literele A, B, C : începuturile înfășurărilor *JT* cu *a*, *b*, *c*. Sfîrșiturile înfășurărilor *IT* sînt însemnate cu *X*, *Y*, *Z* și ale celor de joasă tensiune cu *x*, *y*, *z*. În cazul înfășurărilor bobinate identic pe scheme toate începuturile sînt sus și toate sfîrși-

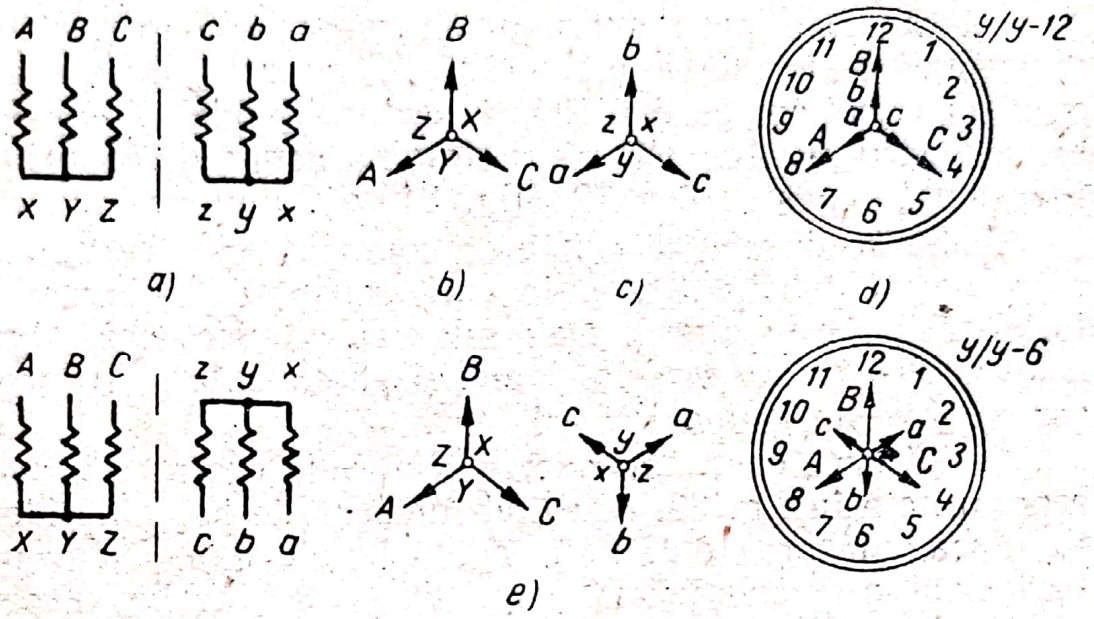



Fig. 31. Exemple de determinare a grupelor de conexiune, ambele înfășurări fiind legate în stea

turile sînt jos (fig. 30, *b*). La înfășurările bobinate în sensuri diferite, începuturile se așază în diferite părți (fig. 30, *c*).

Vectorii tensiunilor, referitori la aceeași fază (înfășurări îmbrăcate pe același miez), sînt paraleli. S-a convenit a se construi diagrama vectorială pentru acel moment în care potențialele *A*, *a* sînt mai mari ca potențialele *X*, *x*.

Denumirea fazelor înfășurării primare și așezarea vectorilor tensiunilor lor se determină prin rețeaua primară și de aceea pentru toate schemele de conexiune sînt identice.

Să examinăm cîteva exemple.

1. Se cere să se determine grupa de conexiune pentru schema reprezentată în fig. 31, *a*.

Primul pas : construim diagrama vectorială a înfășurării *IT* (fig. 31, *b*).

Al doilea pas : construim diagrama vectorială a înfășurării *JT* (fig. 31, *c*). Urmînd condițiile menționate mai sus, vectorii *AX*, *BY*, *CZ* și *ax*, *by*, *cz* sînt respectiv paraleli și îndreptați în aceleași sensuri, deoarece t.e.m. ale înfă-

şurărilor au aceleaşi sensuri (începuturile lor sînt însemnate în fig. 31, *a* în sus).

Al treilea pas: suprapunem centrul de greutate al diagramei vectoriale a înfăşurării *IT* cu centrul ceasornicului, aşezînd vectorul unei faze, de exemplu cel al fazei *BY*, la ora 12.

Al patrulea pas: suprapunem centrul de greutate al diagramei vectoriale a înfăşurării *JT* cu centrul ceasornicului şi ne uităm ce oră indică vectorul aceleiaşi faze, în cazul nostru *by*. Această oră determină grupa de conexiune în exemplul nostru ora 12 (fig. 31, *d*).

2. Să se determine grupa de conexiune pentru schema reprezentată în fig. 31, *e*, la care sensul de bobinare al înfăşurărilor este diferit. Determinarea se efectuează după acelaşi plan şi nu necesită lămuriri suplimentare. În acest caz se găseşte grupa *Y/Y*—6.

3. Să construim diagramele vectoriale pentru schemele reprezentate în fig. 32, *a*, avînd înfăşurările bobinate identic, dacă înfăşurarea *JT* este legată în triunghi. Diagrama vectorială a înfăşurării *IT* (fig. 32, *b*) are acelaşi aspect ca şi cea reprezentată în fig. 31, *b*. De ce? Deoarece aceasta este de asemenea determinată de reţeaua primară.

Paralel cu vectorul *BY* construim vectorul *by* îndreptîndu-l în acelaşi sens (fig. 32, *c*). Apoi, văzînd după schemă că borna *b* este legată cu borna *z*, punem pe diagrama vectorială, alături de litera *b*, litera *z*. Deoarece punctul *z* aparţine vectorului *cz*, trasăm prin el linia *I—I*, paralelă cu vectorul *CZ*. Apoi văzînd că borna *y* este legată cu *a*, însemnăm pe diagrama vectorială alături de litera *y*, litera *a* şi trasăm prin ea linia *II—II*, paralelă cu vectorul *AX*. Punctul de intersecţie al liniilor *I—I* şi *II—II* formează vîrful triunghiului corespunzător legăturii dintre bornele *c* şi *x*. Rămîne să indicăm vîrfurile vectorilor *cz* şi *ax*.

Trebuie să suprapunem centrele de greutate ale diagramelor vectoriale ale tensiunilor înfăşurărilor *IT* şi *JT*, să le aşezăm în centrul ceasornicului şi să determinăm grupa de conexiune. În cazul dat transformatorul are grupa 11, deoarece vectorul *b*, indică ora 11. Grupa este determinată de vectorul *b* şi nu de vectorii *a* şi *c*, deoarece, la ora 12, este îndreptat vectorul *B* şi nu vectorii *A* şi *C*.

Să explicăm cum au fost determinate centrele de greutate. Centrul de greutate al înfăşurării *IT*, legată în stea,



Scanned with OKEN Scanner

îl formează punctul său de nul. Centrul de greutate al înfășurării *JT*, legată în triunghi se determină prin următoarea construcție: fiecare latură a triunghiului se împarte în două părți egale și mijlocul se unește cu vîrful opus. Punctul de intersecție al celor trei linii obținute (al medianelor) este centrul de greutate.

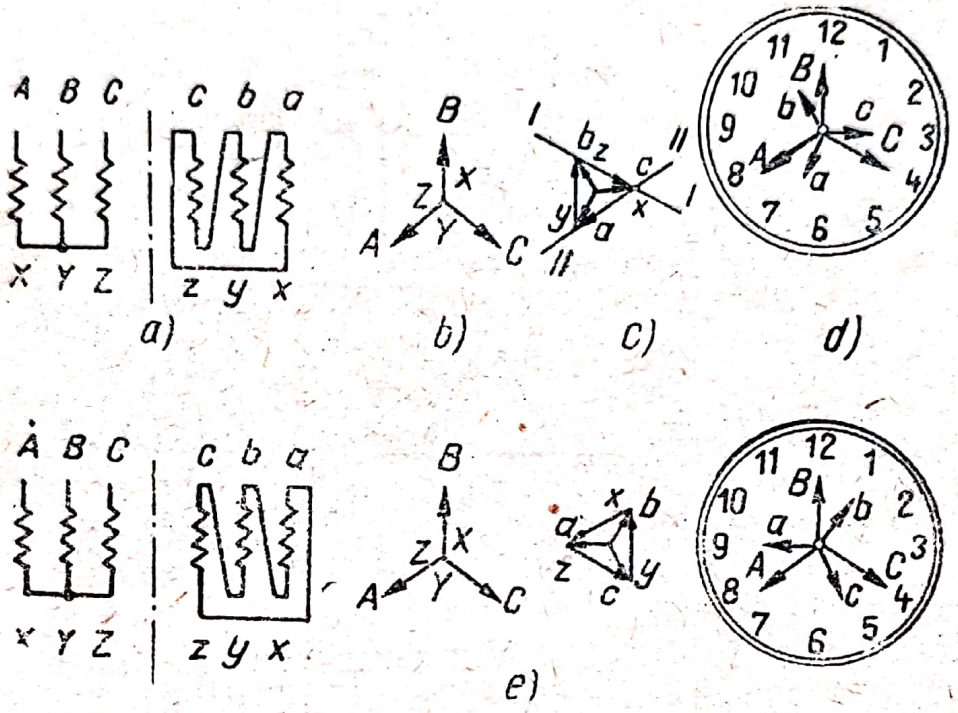



Fig. 32. Exemple de determinare a grupelor de conexiune, înfășurarea JT fiind legată în triunghi

În fig. 32, *e*, înfășurările sînt de asemenea bobinate identic și legate de asemenea în stea și în triunghi, însă nu s-a obținut grupa corespunzătoare orei 11, ci grupa corespunzătoare orei 1. Aceasta se explică prin faptul că efectuînd legarea înfășurărilor de data aceasta, le parcurgem altfel decît în fig. 32, *a*. În primul caz sfîrșitul înfășurării *by* s-a legat cu începutul înfășurării *ax*, în al doilea — sfîrșitul înfășurării *by* s-a legat cu începutul înfășurării *cz*. Datorită altui sens de parcurgere, triunghiul s-a rotit.

Cînd înfășurările *JT* sînt legate în triunghi ne orientăm după vectorii înfășurării *IT* și, după cum s-a mai spus, aceștia reprezintă tensiunile rețelei de alimentare. Cu alte cuvinte, vîrfurile triunghiului format cu vectorii *A*, *B*, *C* au fost date.

Dacă înfășurările *IT* sînt legate în triunghi această condiție trebuie de asemenea respectată, de unde rezultă



Scanned with OKEN Scanner

că, indiferent de legarea înfășurărilor *IT* și în stea (fig. 33, *a*) și în triunghi (fig. 33, *b* și *c*), punctele *A*, *B*, *C* pe diagramele vectoriale sînt așezate identic: aceasta este rețeaua de alimentare.

Sensul vectorilor, însă, în cazul legăturii în triunghi poate fi diferit. El este determinat de ordinea efectuării legăturilor.

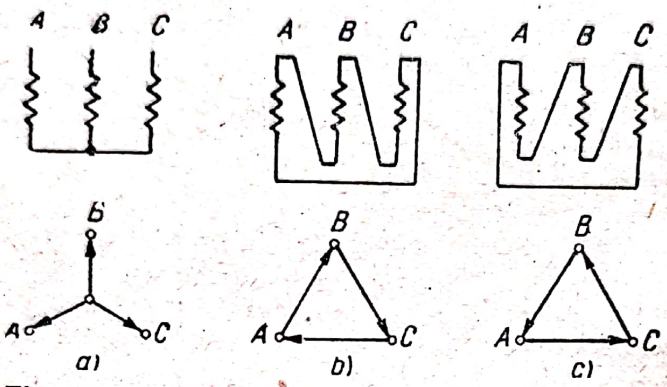



Fig. 33. Poziția vectorilor în cazul legării în triunghi a înfășurărilor de înaltă tensiune

În adevăr, în fig. 33, *b* legarea este efectuată de la începutul înfășurării *BY* la sfîrșitul înfășurării *CY* și de de la aceasta la înfășurarea *AX*, căreia îi corespunde sensul săgeților din diagrama vectorială.

În fig. 33, *c*, legarea este efectuată în altă ordine: de la începutul înfășurării *BY* la sfîrșitul înfășurării *AX* și de la aceasta la înfășurarea *CZ*. De aceea, sensul săgeților din diagrama vectorială s-a schimbat.

## § 8. UNELE ERORI LA EFECTUAREA LEGĂTURILOR ÎN STEA ȘI ÎN TRIUNGHI

La legare uneori apar erori: în loc de triunghi (fig. 34, *a*) se obține altă schemă (fig. 34, *b*). Cauza o formează sensul deosebit de bobinare a unei înfășurări sau mai simplu determinarea greșită a începutului și sfîrșitului acesteia.

Deocamdată triunghiul este încă deschis, adică punctele *z* și *y* încă nu sînt unite, iar între ele se obține o tensiune dublă. Dacă ele se leagă are loc un scurtcircuit.



Răsturnar
în stea, în loc
(evantai) (fig
însă tensiune
numai între fa
siunea va fi
siunea de faz

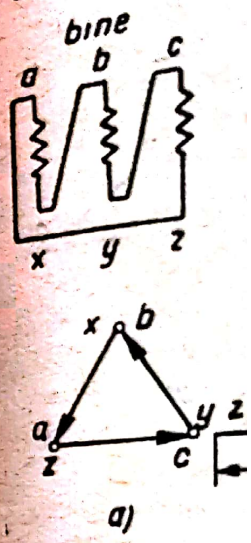



Fig. 34. Eror

Nu întîm
tensiunii cînd
cu toate că la
din diagrama
aceea că, în
strică echilibr
lor se pot defe
În rețele
duce la suba
În rețele
electrice (cît
electric legat
la arborele r
arderea acest
ție. De ce?
a înfășurărilo
*a*, *b*, *c* (vezi
legăturii în „
își schimbă s

Scanned with OKEN Scanner

Răsturnarea uneia dintre înfășurări în cazul legăturii în stea, în loc de stea (fig. 34, *c*), dă o legătură în „V“ (evantai) (fig. 34, *d*). În acest caz nu va fi scurtcircuit, însă tensiunea aproape de cea nominală se va păstra numai între fazele *a* și *c*. Între fazele *a* și *b* și *b* și *c*, tensiunea va fi mult scăzută și egală, aproximativ, cu tensiunea de fază.

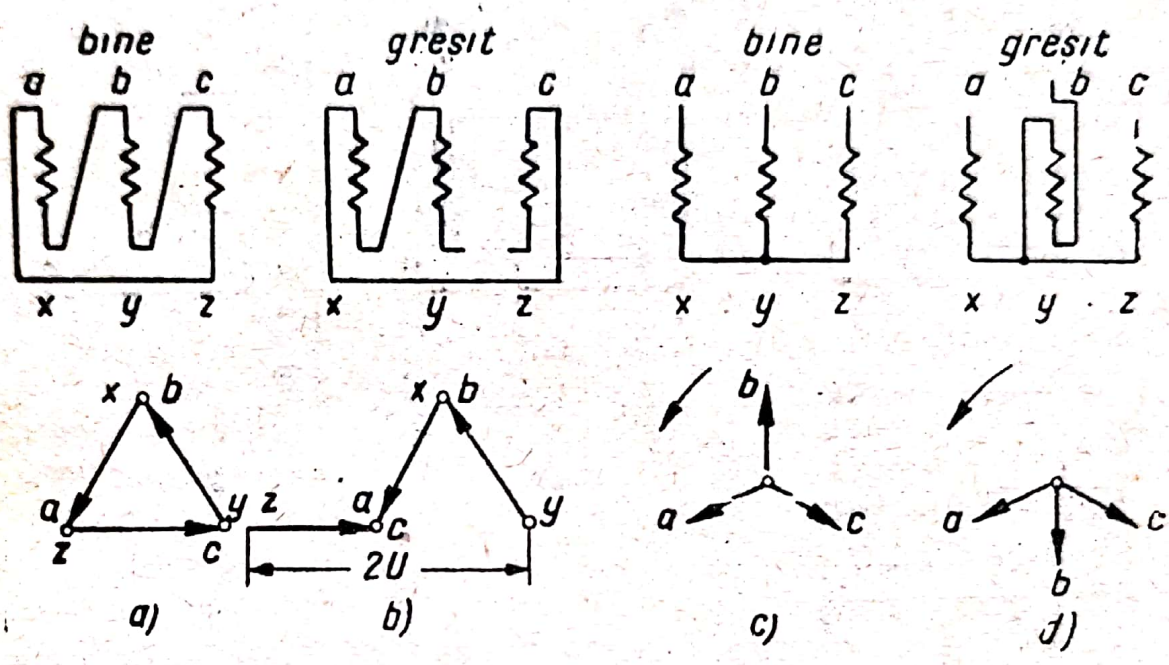



Fig. 34. Erori făcute la legarea înfășurărilor transformatoarelor

Nu întîmplător în cazul acesta nu se indică valorile tensiunii cînd legătura este sub formă de legătură în „V“, cu toate că la prima vedere acestea pot fi ușor determinate din diagrama vectorială. Această situație se explică prin aceea că, în cazul legăturii în „V“, în transformator se strică echilibrul magnetic, din care cauză valorile tensiunilor se pot deforma (vezi mai jos explicațiile date la fig. 35).

În rețelele de iluminat legătura în „V“ în loc de stea duce la subalimentarea lămpilor.

În rețelele legate în „V“ care alimentează motoare electrice (cît și în cazul conectării înfășurărilor motorului electric legat în „V“ nu numai că se va micșora puterea la arborele motorului (ceea ce poate duce la oprirea și arderea acestuia), dar se va schimba și sensul său de rotație. De ce? Pentru că dacă în cazul legăturii corecte a înfășurărilor cîmpul magnetic învîrtitor a avut sensul *a, b, c* (vezi săgeata reprezentată în fig. 34, *c*), în cazul legăturii în „V“, acesta și prin urmare și motorul electric își schimbă sensul: *a, c, b*.

Inainte de a trece la examinarea problemei următoare, trebuie să menționăm încă o situație importantă : la transformatoare, noi întîlnim nu numai circuite electrice, ci și magnetice, acestea trebuind să fie privite împreună. În adevăr, tensiunea primară creează un curent magnetizant. Curentul magnetizant determină fluxul magnetic. Fluxul

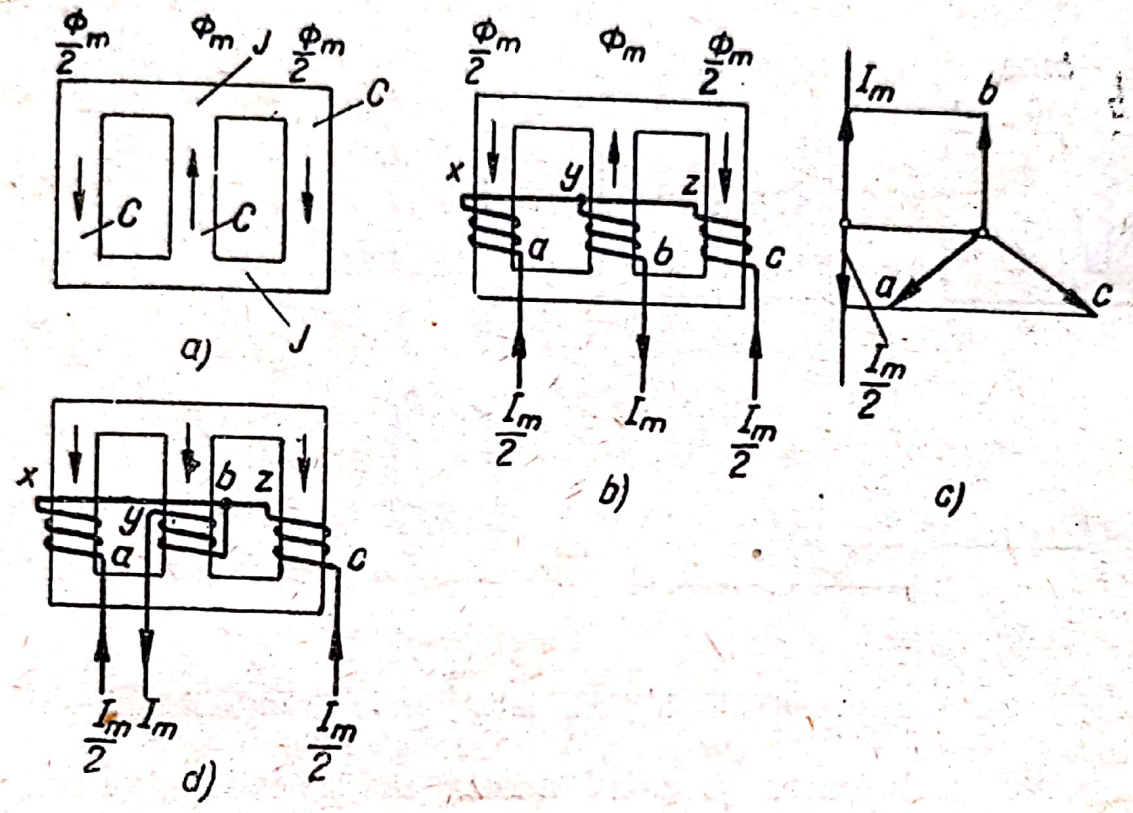



Fig. 35. Legarea corectă și necorectă a înfășurărilor

magnetic creează tensiunea secundară. Aceasta determină curentul de sarcină, care la rîndul său determină fluxul său magnetic care acționează în același circuit magnetic. Este natural că existența în același circuit magnetic a cîtorva fluxuri magnetice nu poate să nu influențeze tensiunea secundară a transformatorului. Această problemă complexă este examinată amănunțit în lucrările de specialiate [3 și 8]. Tot aici menționăm una din defecțiunile în funcționare a circuitului magnetic al transformatorului, datorită erorii făcute la coordonarea fazelor.

Din fig. 35, *a* se vede că fluxurile magnetice ale celor trei bare *C* ale transformatorului cu trei miezuri (pe care sînt așezate înfășurările diferitelor faze) converg în jugurile *j*. Aceasta înseamnă că în orice moment suma lor trebuie să fie egală cu zero.

În fig. 35, *a* este arătat sensul fluxurilor magnetice pentru momentul cînd fluxul în miezul din mijloc are valoarea maximă $\Phi_m$ și este îndreptat în sus, iar în miezurile extreme fluxurile sînt egale cu $\Phi_m/2$ și sînt îndreptate în jos. O astfel de repartizare a fluxurilor magnetice create de înfășurările primare ale transformatorului este corectă și se realizează printr-o schemă ca în fig. 35, *b*.

În adevăr, după cum rezultă din fig. 35, *c*, dacă în momentul dat curentul din înfășurarea miezului din mijloc a atins valoarea maximă $I_m$ și este îndreptat în sus, în miezurile extreme curenții sînt egali cu $I_m/2$ și sînt îndreptați în jos. Valorile și sensurile fluxurilor magnetice din miezuri corespund cu valorile și sensurile curenților.

Legătura greșită a înfășurărilor primare este reprezentată în fig. 35, *d*. Aici una din faze este „întoarsă" (nu sînt corect determinate începutul și sfîrșitul sau bobinarea a fost executată în alt sens). În acest caz, fluxurile în toate cele trei miezuri au același sens, în cazul nostru în jos. Aceasta înseamnă că fluxul miezului din mijloc (care este obligat să se închidă prin miezurile extreme) în miezurile extreme este îndreptat în sus, adică în sens opus față de fluxurile produse de înfășurările acestora. Cu alte cuvinte fluxul unei faze demagnetizează miezurile celorlalte faze. Ca rezultat, transformatorul ia din rețea un curent magnetizant mărit, ceea ce nu este permis.

## § 9. COORDONAREA FAZELOR

În general, *prin coordonarea fazelor se înțelege punerea de acord a fazelor legate.* Înfășurările cu fazele corect coordonate se leagă în stea și în triunghi, iar cele cu fazele incorect coordonate în loc de stea formează o legătură în „V" (vezi § 8) etc.

Coordonarea fazelor înfășurărilor nu epuizează însă problemele care se pun la conectarea echipamentului electric la rețea, deoarece un aparat sau o mașină electrică cu fazele corect coordonate trebuie pus de acord cu fazele rețelei la care se leagă. Problema consistă nu numai în evitarea scurtcircuitelor prin legarea a două surse de curent și a curentului de egalizare, dar și în a asigura un sens corect pentru rotația motoarelor electrice.



Scanned with OKEN Scanner

Astfel, în general, se dă o rețea ale cărei faze *a*, *b*, *c* sînt coordonate și se iau drept inițiale (fig. 36, *a*). La această rețea trebuie însă conectată sarcina.

Dacă aceasta este formată din lămpi, cuptoare, și alți consumatori care nu sînt surse sau transformatoare de curent, determinarea fazelor nu joacă nici un rol. Este important numai ca nulul sarcinei să nu nimerească în mod greșit la o fază (fig. 36, *d*) ; în acest caz lămpile se vor arde.

Dacă sarcina constă din motoare electrice, este necesar ca ele să se rotească într-un anumit sens. Aceasta se realizează printr-o schemă anumită de conexiune a motorului la rețea. Să luăm un exemplu.

Considerăm că rotirea fazelor rețelei are loc în sensul opus mișcării acelor unui ceasornic (fig. 36, *a*). Dacă se leagă motorul electric *M* așa cum se arată în fig. 36, *b*, curentul va atinge valorile maxime mai întîi în înfășurarea *2* (care este legată la faza *a*), apoi în faza *3* (deoarece după faza *a* urmează faza *b*) și, în sfîrșit, în înfășurarea *1*. Inseamnă că rotorul motorului se va roti în sensul acelor unui ceasornic.

Dacă legăm motorul altfel (fig. 36, *c*), adică astfel ca mai întîi curentul să atingă valoarea maximă în înfășurarea *3*, apoi în înfășurarea *2* și, în sfîrșit, în înfășurarea *1*, motorul se va roti în sens opus acelor unui ceasornic.

Pentru a schimba sensul de rotație al motorului este suficient să schimbăm între ele, două faze la bornele sale. Intr-adevăr, pentru motorul electric este important numai sensul de rotație și aceasta se păstrează pentru trei variante de legături și anume : *a*, *b*, *c* : *b*, *c*, *a* și *c*, *a*, *b* și se schimbă dacă în oricare din aceste variante se schimbă locul dintre două faze oarecare : *a*, *c*, *b* ; *b*, *a*, *c* și *c*, *b*, *a*.

Să examinăm două cazuri tipice de legătură a transformatorului *2 T* la rețeaua alimentată de la transformatorul *1 T*. Transformatoarele au tensiuni secundare egale, aceeași grupă de legătură și înseamnă că pot funcționa în paralel, însă nu au fazele coordonate. Problema consistă în a coordona fazele, adică în a lega bornele $a_1$, $b_1$ și $c_1$ ale transformatorului *2T* la bornele *a*, *b* și *c*.

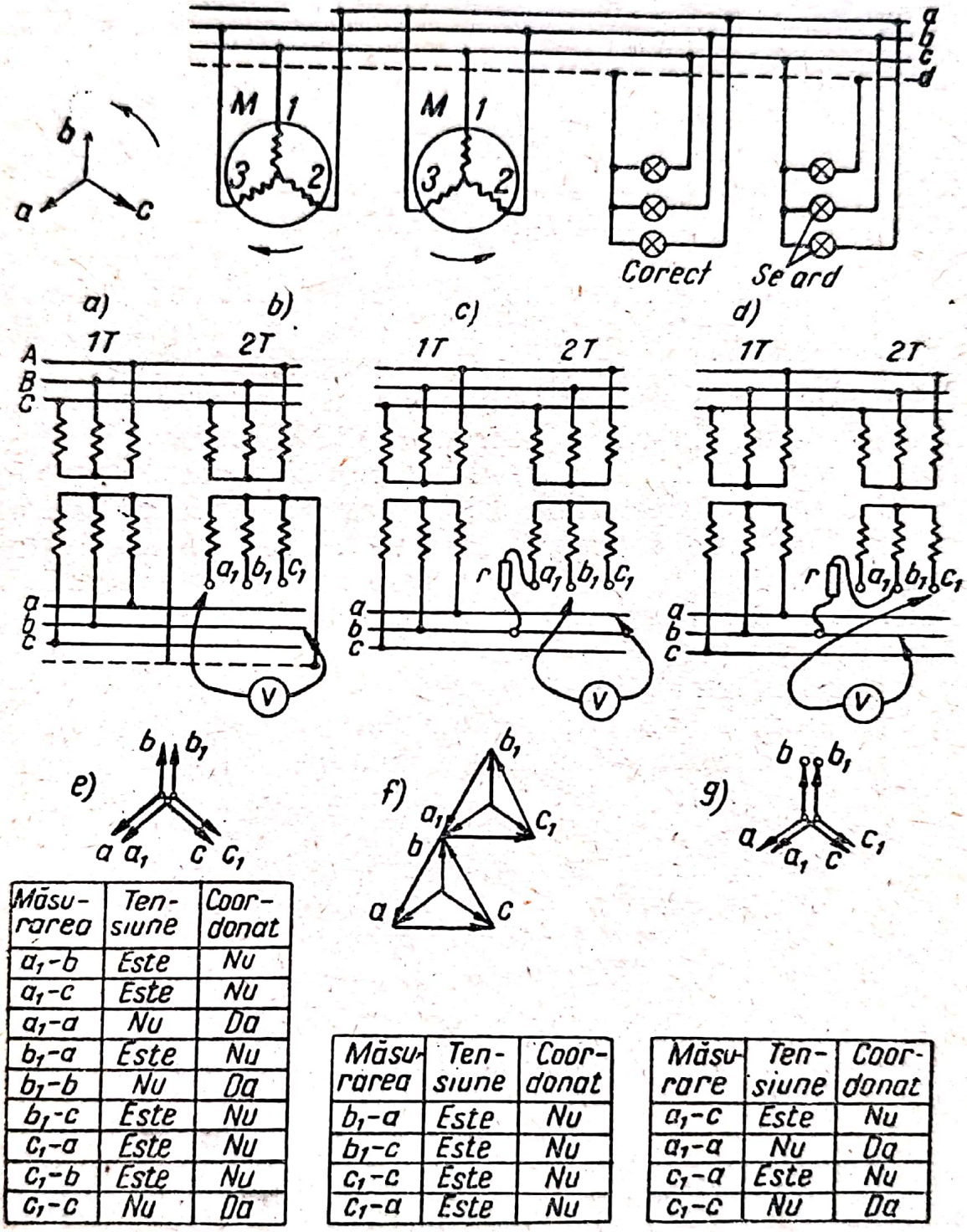
In fig. 36 sînt însemnate bornele $a_1$, $b_1$ și $c_1$, însă la coordonarea fazelor nu se știe în ce ordine acestea sînt aduse la bare. De aceea, înainte de a lega transformatorul



Scanned with OKEN Scanner

2T la bare, trebuie efectuate măsurătorile corespunzătoare, de exemplu cu ajutorul unui voltmetru [1].

*Primul caz.* Punctele neutre ale transformatoarelor sînt legate între ele (fig. 36, *e*). Voltmetrul *V* se conectează




| Măsurarea | Tensiune | Coordonat |
|---|---|---|
| $a_1$-b | Este | Nu |
| $a_1$-c | Este | Nu |
| $a_1$-a | Nu | Da |
| $b_1$-a | Este | Nu |
| $b_1$-b | Nu | Da |
| $b_1$-c | Este | Nu |
| $c_1$-a | Este | Nu |
| $c_1$-b | Este | Nu |
| $c_1$-c | Nu | Da |

| Măsurarea | Tensiune | Coordonat |
|---|---|---|
| $b_1$-a | Este | Nu |
| $b_1$-c | Este | Nu |
| $c_1$-c | Este | Nu |
| $c_1$-a | Este | Nu |

| Măsurare | Tensiune | Coordonat |
|---|---|---|
| $a_1$-c | Este | Nu |
| $a_1$-a | Nu | Da |
| $c_1$-a | Este | Nu |
| $c_1$-c | Nu | Da |

Fig. 36. Schema de principiu pentru coordonarea fazelor

[1] Este periculos să se utilizeze lămpi în acest caz, deoarece între bornele cu fazele necoordonate se poate obține o tensiune de linie dublă. În rețelele cu tensiunea de 380/220 V, ea atinge 760 V.



Scanned with OKEN Scanner

pe rînd între fiecare bornă a transformatorului $a_1$, $b_1$ și $c_1$ și barele $a$, $b$ și $c$ de exemplu în ordinea din tabela din figură. Între fazele diferite, $a_1$—$b$, $a_1$—$c$, $b_1$—$a$, $b_1$—$c$, $c_1$—$a$, $c_1$—$b$, voltmetrul indică tensiune. Între aceleași faze, $a_1$—$a$, $b_1$—$b$, $c_1$—$c$, nu există tensiune. De justețea acestei concluzii ne putem convinge ușor după diagrama vectorială reprezentată în aceeași figură.

*Cazul al doilea.* Punctele neutre ale transformatoarelor nu sînt legate între ele. De acest fapt trebuie în prealabil să ne convingem, deoarece ele se pot lega întîmplător prin pămînt, dacă siguranțele de străpungere nu sînt în perfectă stare.

Înainte de a face vreo măsurare trebuie să unim o bornă de exemplu, $a_1$ (fig. 36, *f*) cu una din bare, de exemplu cu bara $b$. În fig. este reprezentată legătura prin rezistența $r$, care este utilă întotdeauna, pentru a se evita scurt-circuitul din cauze neprevăzute. Măsurarea se efectuează între bornele $b_1$ și $c_1$ și barele $a$ și $c$, conform tabelei și diagramei vectoriale. Din aceasta se vede că fazele nu au fost puse de acord. De ce? Pentru că am legat faza $a_1$ cu bara $b$, adică borne care nu au fazele coordonate. Este clar că și celelalte perechi de borne nu au avut fazele coordonate.

Dacă nu am avut succes prin legarea bornei $a_1$ cu bara $b$, trebuie încercată altă legătură (fig. 36, *g*). Aceasta a fost reușită: borna $b_1$ a fost legată cu bara $b$, adică în concordanță de fază. De aceea, la măsurarea dintre borna $a_1$ și bara $a$, cît și între borna $c_1$ și bara $c$, constatăm că nu există tensiune (vezi tabela), ceea ce arată că ele sînt în concordanță de fază.

## § 10. UNELE ERORI LA COORDONAREA FAZELOR ȘI PREVENIREA LOR

Coordonarea fazelor este o problemă complicată comportînd foarte multe variante. Ea poate fi tratată într-o carte specială. Aici vom atrage atenția asupra a trei greșeli mai răspîndite: 1) coordonarea cu ajutorul indicatorului de fază, ceea ce se interzice cu desăvîrșire; 2) indiferența față de legarea la barele generatoarelor și a înfășurărilor secundare ale transformatoarelor care alimentează



Scanned with OKEN Scanner

rețeaua ; 3) legarea greșită a transformatoarelor de curent în schemele de protecție diferențială.

Indicatorul de fază arată numai sensul de rotație al fazelor și nimic mai mult. Însă după cum s-a menționat, mai sus, rotația are același sens pentru cîteva variante de

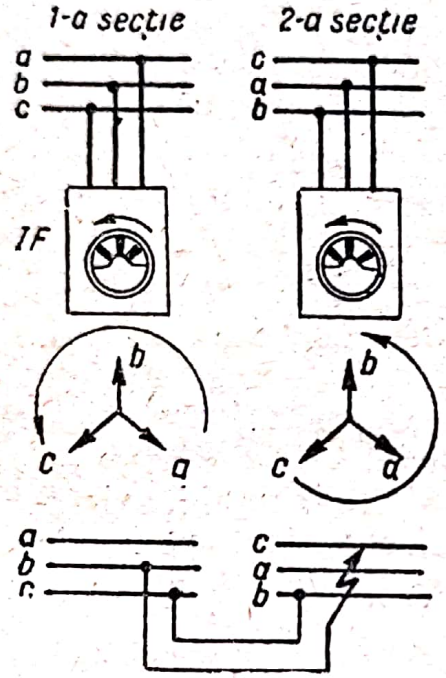



Fig. 37. Inadmisibilitatea coordonării fazelor cu ajutorul indicatorului de fază

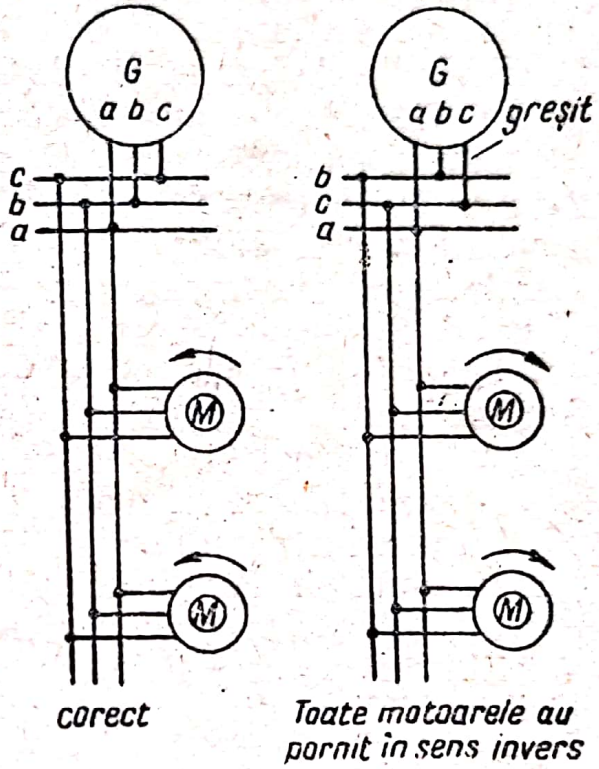



Fig. 38. Schimbarea sensului de rotație al motoarelor electrice prin încrucișarea fazelor surselor electrice de alimentare

scheme printre care este și una în care nu este exclusă legarea de faze diferite, adică scurtcircuitarea.

*Exemplu.* În fig. 37 este reprezentată eroarea făcută la coordonarea fazelor înaintea legării a două secții cu bare așezate diferit. În prima secție barele sînt așezate în ordinea *a, b, c,* în cea de a doua *c, a, b.* Indicatorul de fază *IF* arată, cu toate acestea, același sens de rotație. Dacă în baza acestei indicații tragem concluzia greșită că barele ambelor secții au fazele coordonate și le legăm după cum se arată în fig. 37, se va produce un scurtcircuit.

Indiferența față de legătura la bare a generatorului de alimentare, poate duce la aceea că succesiunea fazelor la bare se schimbă. Ca rezultat, toate motoarele electrice care se alimentează de la aceste bare se vor roti în sens opus (fig. 38).

Protecțiile diferențiale ale transformatoarelor se leagă astfel ca, între transformatoarele de măsură de curent ale acelorași faze de înaltă și joasă tensiune, practic să nu existe curent de egalizare atîta timp cît transformatorul este în perfectă stare. Pentru aceasta nu este suficientă alegerea corectă a raporturilor de transformare ale transformatoarelor de curent. Trebuie în afară de aceasta ca transformatoarele de curent să fie legate în grupe inverse față de grupele de conexiune ale transformatorului protejat. De exemplu, dacă înfășurarea *IT* este legată în stea, iar înfășurarea *JT* în triunghi, pentru compensare în circuitele de protecție a decalajului natural dintre acestea, transformatoarele de curent trebuie legate invers, adică dinspre *IT* în triunghi și dinspre *JT* în stea.

Legăturile în stea și triunghi reprezintă schemele fundamentale de legătură în instalațiile electrice de curent alternativ trifazat și, după cum s-a arătat amănunțit mai sus, fiecare schemă are o serie de proprietăți care determină domeniul de utilizare al acesteia.

In afară de legăturile în stea și în triunghi există o serie de scheme speciale care se utilizează larg în tehnică.

Cititorii pe care îi interesează astfel de scheme le pot găsi în bibliografia de specialitate.

Scanned with OKEN Scanner

# BIBLIOGRAFIE


1. *Г. В. Алексенко*, Параллельная работа трансформаторов, Госэнергоиздат, 1960.
2. *Н. И. Булгаков*, Группы соединения трансформаторов, Госэнергоиздат, 1955.
3. *М. Видмар*, Трансформатор в эксплуатации, Государственное научно техническое издательство, 1931.
4. *Е. А. Каганович*, Испытание трансформаторов малой и средней мощности, Госэнергоиздат, 1959.
5. *Б. А. Константинов*, *К. И. Соколова* и *Г. Н. Шулятьева*, Коэффициент мощности и способы его улучшения на промышленных предприятиях, Госэнергоиздат, 1959.
6. *Л. Б. Ривлин*, Как определить неисправность асинхронного электродвигателя, Госэнергоиздат, 1960.
7. *М. Р. Найфельд*, Что такое защитное заземление и как его устраивать, Госэнергоиздат, 1959.
8. *Ф. П. Холуянов*, Трансформаторы однофазного и трехфазного тока, ОНТИ, Госэнергоиздат, 1934.


Scanned with OKEN Scanner

# TABLA DE MATERII


| | Pag. |
|---|---|
| 1. Introducere | 3 |
| 2. Noțiuni și definiții fundamentale | 4 |
| 3. Cum se formează legătura în stea | 19 |
| 4. Cum se formează legătura în triunghi | 29 |
| 5. Proprietățile legăturilor în stea și ale legăturii în triunghi | 35 |
| 6. Cum se determină bornele aparatelor | 42 |
| 7. Grupele de conexiuni (legături) ale transformatoarelor | 47 |
| 8. Unele erori la efectuarea legăturilor în stea și în triunghi | 56 |
| 9. Coordonarea fazelor | 59 |
| 10. Unele erori la coordonarea fazelor și prevenirea lor | 62 |
| Bibliografie | 65 |


Scanned with OKEN Scanner

Redactor responsabil : Ing. ZAMFIRESCU PAUL
Tehnoredactor : IONESCU MARIA

*Dat la cules 06.10.1962. Bun de tipar 18.01.1963. Apărut 1963. Tiraj : 12000+110. Broşate. Hîrtie semivelină de 63 g/m², 540×840/16. Coli editoriale 3,51. Coli de tipar 4,25. A : T. 1004/80/1962. C. Z. pentru bibliotecile mari 621.3. C. Z. pentru bibliotecile mici 621.*

Tiparul executat la I. P. nr. 6. str. Al. Odobescu nr. 12. Bucureşti, R.P.R. — c. 5361.

Scanned with OKEN Scanner

Lei 2.—

Vor apărea:

*Jakobson I. A.* — **Cum se execută presarea clemelor de legătură ale conductoarelor și cablurilor**

Traducere din limba rusă

★

*Aptov I. S., Homeakov M. V.* — **Cum se întreține uleiul izolant**

Traducere din limba rusă

★

*Lăzărescu St., Birsănescu V., Sărcineanu R.* — **Cum se montează manșoanele și cutiile terminale ale cablurilor**

★

*Bulavin P. N.* — **Redresoare cu seleniu**

Traducere din limba rusă

EDITURA TEHNICĂ

Scanned with OKEN Scanner